BCC
BANGKOK CABLE

คู่มือการออกแบบ และติดตั้งระบบไฟฟ้า

ผศ.ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

Revision 03

500.-

ใช้ไฟฟ้าปลอดภัย
ใช้สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล

บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ดำเนินแผนกลยุทธ์ในการพัฒนาองค์กรสู่การเติบโตอย่างยั่งยืน โดยคำนึงถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทางธุรกิจให้ได้รับประโยชน์ร่วมกัน ธุรกิจจึงจะอยู่รอดได้และเติบโตไปพร้อม ๆ กัน ควบคู่กับวิสัยทัศน์เพื่อก้าวสู่ความเป็นหนึ่งของผู้นำผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้าและสายเคเบิ้ลระดับ ASEAN และต่อยอดเทคโนโลยีสู่นวัตกรรมที่หลากหลายในผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้า สายส่งสัญญาณ และสายสื่อสาร โดยกำกับการดำเนินงานด้วยแนวคิดที่ให้ความสำคัญกับเศรษฐกิจที่เชื่อมโยงกับคุณภาพชีวิตของผู้คนและสิ่งแวดล้อมเสมอ

ชื่อหนังสือ
คู่มือการออกแบบ
และติดตั้งระบบไฟฟ้า

ชื่อผู้แต่ง
ผศ.ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

จัดพิมพ์โดย :
บริษัท เซจ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
17 ถนนเทศบาลนฤมาณ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

ISBN : 978-616-93682-0-5
ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 3 ปีที่พิมพ์ : พ.ศ.2564
จำนวน : 3,000 เล่ม
จำนวนหน้า : 476 หน้า

อำนวยการผลิต :
บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด
โทร. 0 2651 9221-9, 0 2651 9252-7
โทรสาร. 0 2253 6028, 0 2253 5973

สารจากประธานกรรมการบริหาร

บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ได้จัดทำคู่มือการใช้สายไฟฟ้าเล่มแรกในปี พ.ศ. 2520 ต่อมาเมื่อสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม ได้ทำการแก้ไขปรับปรุงมาตรฐานสายไฟฟ้าจาก มอก.11-2518 เป็น มอก.11-2531 ประกอบกับการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ก็ได้จัดทำมาตรฐานกฎการเดินสายไฟฟ้าและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าขึ้น บริษัทฯ จึงมีโครงการจัดทำหนังสือ ***"คู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า"*** เพื่อเป็นข้อมูลให้กับวิศวกรและช่างไฟฟ้า สำหรับการใช้งานได้อย่างสะดวกและอ้างอิงได้ โดยได้รับการอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบระบบไฟฟ้า แห่งภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้ากำลังคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เป็นผู้ช่วยจัดทำและดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตลอดมา เช่น เมื่อมีการปรับปรุงมาตรฐานการติดตั้งสายไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือเมื่อมีการปรับปรุงมาตรฐานสายไฟฟ้าจาก มอก.11-2531 เป็น มอก.11-2553 และล่าสุดคือ มอก. 11-2559

ด้วยปณิธานที่บริษัทฯ ประสงค์ให้หนังสือคู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้านี้ได้ก่อให้เกิดการพัฒนาเพื่อนำมาสู่ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าอันเป็นเป้าหมายสำคัญ จึงได้สนับสนุนการจัดพิมพ์เพื่อแจกจ่ายให้กับวิศวกร ผู้รับเหมา ช่างไฟฟ้า ตลอดจนสถาบันการศึกษาต่าง ๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด และบริษัทฯ ได้ดำเนินการต่อเนื่องมาจนถึงเล่มปัจจุบัน ซึ่งเป็นฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 3

ด้วยจิตอันเป็นวิทยาทาน เพื่อคุณประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ บริษัทฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะช่วยอำนวยประโยชน์ต่อวิศวกร ช่างไฟฟ้า ผู้รับเหมา ผู้ออกแบบ และผู้ก่อสร้าง ในการนำไปใช้ให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดต่อผู้บริโภคและผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณคณะผู้จัดทำทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

(นายสมพงศ์ นครศรี)
ประธานกรรมการบริหาร
บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด
1 มีนาคม 2564

BCC
BANGKOK CABLE

คำนำ

ตามที่บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ได้กรุณาให้ข้าพเจ้าเขียนหนังสือ ***"คู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า"*** ตั้งแต่เล่มแรก และต่อมาได้มีการปรับปรุงฉบับที่ 2 ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในหมู่ช่างและวิศวกรไฟฟ้า เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ถูกต้องและเข้าใจง่าย

เมื่อทางกระทรวงอุตสาหกรรมได้ปรับปรุงมาตรฐานสายไฟฟ้าจาก มอก.11-2531 เป็น มอก.11-2553 โดยประกาศใช้ตั้งแต่วันที่ 31 กรกฎาคม 2556 และทางวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ได้ปรับปรุงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย จากฉบับ พ.ศ.2551 เป็นฉบับ พ.ศ.2556 ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานสายไฟฟ้าใหม่ และมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าใหม่ บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด จึงให้ข้าพเจ้าช่วยจัดทำหนังสือใหม่ ซึ่งหนังสือคู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าเล่มนี้จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับสายไฟฟ้าปรากฎอยู่เกือบทุกบท ข้าพเจ้าพร้อมผู้ช่วยจึงได้ปรับปรุงแก้ไขหนังสือคู่มือใหม่ตลอดทั้งเล่มให้มีความสมบูรณ์มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของช่างและวิศวกรไฟฟ้า ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือคู่มือที่ปรับปรุงใหม่นี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านอย่างมากเช่นที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณสมพงศ์ นครศรี ประธานกรรมการบริหาร บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ที่เห็นความสำคัญและสนับสนุนให้จัดทำหนังสือคู่มือนี้ เพื่อเป็นประโยชน์แก่ช่างและวิศวกรไฟฟ้า และขอขอบคุณพนักงาน บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการจัดทำหนังสือคู่มือนี้

ด้วยความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

COMPANY PROFILE

บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ก่อตั้งเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ.2507 เพื่อดำเนินกิจการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้าชนิดตัวนำทองแดงและตัวนำอะลูมิเนียม โดยมีผู้บริหารและผู้ถือหุ้นเป็นคนไทยทั้งหมด มีทุนจดทะเบียนปัจจุบัน 1,300 ล้านบาท

สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล เป็นโรงงานผลิตขนาดใหญ่ มีกำลังการผลิตที่สูงสามารถผลิตสายไฟฟ้าได้หลากหลายชนิด อีกทั้งยังมีทีมวิศวกรที่มีความรู้ ความสามารถ และความเชี่ยวชาญ และด้วยประสบการณ์อันยาวนานของบริษัทฯ ที่สามารถผลิตได้ทั้งสายไฟฟ้ากำลัง สายคอนโทรล สายอินสทรูเม้นท์ และสายสื่อสาร เป็นต้น

สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล ดำเนินธุรกิจด้วยระบบบริหารการจัดการสมัยใหม่ มีการพัฒนาคุณภาพมาตรฐานผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นการบริหารการจัดการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเต็มเปี่ยม สอดคล้องกับการเสริมด้วยระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อเพิ่มศักยภาพสูงสุดในกระบวนการผลิตทั้งในปัจจุบันและอนาคต

บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด

สำนักงานใหญ่

187/1 ถนนราชดำริ แขวงลุมพินี
เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
โทร. 0 2651 9221-9, 0 2651 9252-7, 0 2254 4550-9
โทรสาร. 0 2253 6028, 0 2253 5973, 0 2254 3859

โรงงานสมุทรปราการ

93 หมู่ 11 ถนนสุขสวัสดิ์ ตำบลในคลองบางปลากด
อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ 10290
โทร. 0 2425 0441-3
โทรสาร. 0 2815 6296

โรงงานฉะเชิงเทรา

39/1 หมู่ 1 ถนนบางปะกง-ฉะเชิงเทรา ตำบลแสนภูดาษ
อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา 24140
โทร. 0 3857 7266-9
โทรสาร. 0 3857 7270-1

sales@bangkokcable.com
bangkokcablebcc
www.bangkokcable.com
@bangkokcablebcc

OUR VISION

Our vision is to become a regional leader in electrical energy transmission, elevating innovative technologies, research, and development to pioneer industry leading solutions that will meet the diverse needs of our customers. Our pursuit of this vision will be underpinned by our commitments to sustainability and the principles of ‘circular economy’, contributing to the sustainable growth and happiness of the communities, societies, and environment that we reach.

MISSION

Our goal is to be the number one electrical wires and cables manufacturer in Southeast Asia by providing the highest quality products at the most competitive prices with the fastest delivery. We will continuously develop our human capital, products, and manufacturing technologies to deliver superior value to our key stakeholders.

LOW VOLTAGE
POWER CABLES

Red | Yellow | Light Blue | Black | Brown | Gray | Green | Gn / Ye | White

450/750 V 70°C 60227 IEC 01 (THW)

SINGLE-CORE NON-SHEATHED CABLE
WITH RIGID CONDUCTOR

SIZE : 1.5, 2.5, 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400

Sheathed Single Core LV Cables

450/750 V 70°C NYY

1 CORE - PVC INSULATED AND SHEATHED CABLE,
ROUND TYPE

450/750 V 70°C VCT

1 CORE - PVC INSULATED AND SHEATHED CABLE
ROUND TYPE, FLEXIBLE CONDUCTOR

Sheathed Flat Cables

300/500 V 70°C VAF

2 CORES - PVC INSULATED AND SHEATHED CABLE,
FLAT TYPE

XLPE Cables (FR & Armour Optional)

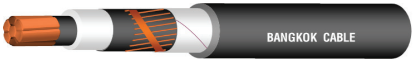
0.6/1 kV CV (FR-CV optional)

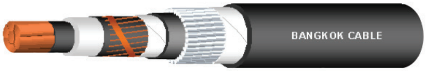
1-4 CORES - CROSSLINKED
POLYETHYLENE POWER CABLE

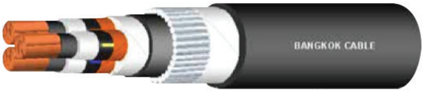
MEDIUM VOLTAGE
POWER CABLES

3.6/6(7.2) – 18/30(36) kV CV or CE (FR & Armour Optional)

(IEC 60502-2) For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.







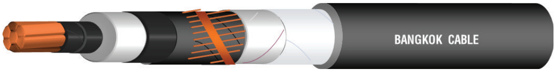
25&35 kV SAC (Spaced Aerial Cable)

TIS 2341-2555 For aerial power transmission and distribution line.

HIGH VOLTAGE
POWER CABLES

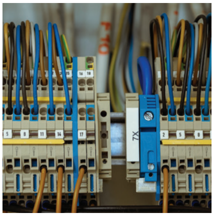
69, 115 kV CV or CE

(IEC 60840 or TIS 2202-2547) Preferably laid in substations, factories and urban area. The cable shall be suitable for use in ducts, trays and direct burial in ground, subjected to immerse in water all time.



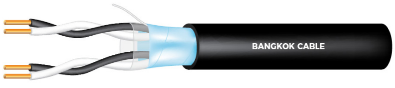
CONTROL
CABLES

For supervisory electrical equipment, station control circuits, outdoor, suitable installation in the dry or wet cable trenches.

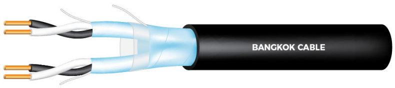


INSTRUMENTATION
CABLES

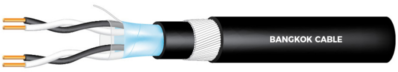
The cable shall be suitable for connecting instrument and control systems for analog or digital transmission.



CVV-SLA



CVV-IS-OS



CVV-SLA-SWA

CVV-IS-OS-SWA

LOW SMOKE HALOGEN FREE CABLES
& FIRE RESISTANT CABLES

Low Smoke Halogen Free Cables

- Flame retardant property
- Low smoke & Halogen free properties
- TÜV SÜD Certificate mark

Fire Resistant Cables

- Fire resistant property
- Flame retardant property
- Low smoke & Halogen free properties
- TÜV SÜD Certificate mark

Flame propagation test

Acidity of gases test

Smoke density test

Resistance to fire alone

Resistance to fire with water

Resistance to fire
with mechanical shock

PHOTOVOLTAIC CABLES (H1Z2Z2-K)

Standard : BS EN 50618 : 2014

Cross-Sectional Area (sq.mm)
Size : 1.5 - 240 sq.mm

Classification

- 1.5 (1.8) kV DC
- 1.0/1.0 kV AC

Construction

- **Conductor** : Tinned Annealed Copper (Flexible class 5)
- **Insulation** : Cross-linked Polyolefin copolymer
- **Sheath** : Cross-linked Polyolefin copolymer

Features

- Ozone resistance : BS EN 50396
- Halogen free : BS EN 50525-1
- Weather/UV resistance : BS EN 50618
- Flame retardant : BS EN 60332-1-2
- Low smoke : BS EN 61034-2
- Acid and Alkaline resistance : BS EN 60811-404

Applications

The cable use for interconnection wiring of photovoltaic power system like solar panel arrays for utility scale solar plants or rooftops. Suitable for both internal and external use. They can also install to be fixed, free movable, in cable trays and in conduit.

Management System

ISO 9001	QMS02093/538
ISO 14001	EMS07007/266
ISO 45001	OHSMS20033/111

CABLES UNDER FIRE CONDITIONS LABORATORY

ห้องปฏิบัติการทดสอบสายเคเบิ้ลภายใต้สภาวะเผาไหม้แห่งแรกของประเทศไทย ที่ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.17025 (ISO/IEC 17025) ห้องปฏิบัติการที่ทันสมัยแห่งนี้สามารถดำเนินการทดสอบการต้านทานการลุกไหม้ ความหนาแน่นของควันไฟ ความสามารถในการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าได้ขณะเกิดเพลิงไหม้ ตลอดจนการปล่อยก๊าซและกรดฮาโลเจนตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล

LABORATORY FOR TESTING MEDIUM AND HIGH VOLTAGE CABLES

ห้องปฏิบัติการทดสอบสายไฟฟ้าแรงดันปานกลางและแรงดันสูง ที่ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.17025 (ISO/IEC 17025) เป็นห้องปฏิบัติการที่มีมาตรฐานการทดสอบที่แม่นยำและเชื่อถือได้ในระดับสากล

BCC
BANGKOK CABLE

SUCCESS STORIES

Renewable Energy

Airport

Healthcare Centers

5G Transmission Towers

Transmission Line Projects

Substations

Underground Cable Projects

Oil & Gas

Petrochemical

Sky Train

Railway System

MRT

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.1 บทนำ 1

1.2 การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศไทย 3

1.3 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 3

1.4 การไฟฟ้านครหลวง 4

1.5 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 5

1.6 การจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า 6

1.7 การจัดวงจรการจ่ายไฟฟ้า 12

1.8 ระบบการจ่ายไฟฟ้าสายป้อนใต้ดิน 21

บทที่ 2 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

2.1 บทนำ 27

2.2 ส่วนประกอบ 28

2.3 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC 31

2.4 สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC 33

2.5 สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE 35

บทที่ 3 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำตาม มอก. 11-2553

3.1 บทนำ 41

3.2 มอก. 11-2553 41

3.3 เล่มที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไป 42

3.4 สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553 ที่นิยมใช้งาน 45

บทที่ 4 สายไฟฟ้าแรงดันสูง

4.1 บทนำ 57

4.2 สายเปลือย (Bare Wires) 57

หน้า

4.3 สายหุ้มฉนวนแรงสูง 61
4.4 สายหุ้มฉนวนแรงสูงไม่เต็มพิกัด 61
4.5 สายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด 64
4.6 พิกัดกระแสของสาย MV หุ้มฉนวน 70
4.7 สายไฟฟ้าแรงดันสูงของ BCC 74

บทที่ 5 สายทนไฟ

5.1 บทนำ 87
5.2 คุณสมบัติ 87
5.3 การต้านเปลวเพลิง 88
5.4 การปล่อยก๊าซกรด 90
5.5 การปล่อยควัน 91
5.6 การต้านทานการติดไฟ 94
5.7 สายทนไฟ 97
5.8 สายทนไฟตามมาตรฐาน วสท. 98
5.9 พิกัดกระแสของสายทนไฟ 105
5.10 สายทนไฟของ BCC 108

บทที่ 6 ท่อร้อยสาย เครื่องประกอบ และกล่องไฟฟ้า

6.1 บทนำ 121
6.2 ชนิดของท่อร้อยสาย 122
6.3 ท่อโลหะหนา 122
6.4 ท่อโลหะหนาปานกลาง 124
6.5 ท่อโลหะบาง 124
6.6 ท่อโลหะอ่อน 125
6.7 ท่ออโลหะแข็ง 126

หน้า

6.8 จำนวนสายไฟฟ้าสูงสุดในท่อร้อยสาย 127
6.9 มิติสายไฟฟ้า 130
6.10 ตัวอย่างการคำนวณขนาดท่อร้อยสาย 131
6.11 เครื่องประกอบ 133
6.12 กล่องไฟฟ้า 137
6.13 ข้อต่อเปิด 139
6.14 การคำนวณขนาดกล่องต่อสาย 140
6.15 การคำนวณขนาดกล่องดึงสาย กล่องชุมสาย 148

บทที่ 7 พิกัดกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าและตารางพิกัดกระแส

7.1 บทนำ 153
7.2 การนำกระแสของสายไฟฟ้า 153
7.3 พิกัดการนำกระแสสายไฟฟ้า ตามมาตรฐาน IEC 155
7.4 พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าตามสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) 156
7.5 วิธีการติดตั้ง 156
7.6 ตารางพิกัดสายไฟฟ้าของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) 157

บทที่ 8 การคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าตามกลุ่มการติดตั้งที่ 2, 5 และ 7

8.1 บทนำ 195
8.2 ขั้นตอนการคำนวณ 195
8.3 การเลือกขนาด ชนิด สายไฟฟ้าตามการติดตั้งกลุ่มที่ 2 197
8.4 การเลือกขนาด ชนิด สายไฟฟ้าตามการติดตั้งกลุ่มที่ 5 209
8.5 การเลือกขนาด ชนิด สายไฟฟ้าตามการติดตั้งกลุ่มที่ 7 218

หน้า

บทที่ 9 แรงดันตก

9.1 บทนำ 235
9.2 แรงดันตกสำหรับระบบแรงต่ำ 235
9.3 การคำนวณแรงดันตก 236
9.4 ค่า I, cos θ, R และ X ของสายไฟฟ้า 237
9.5 แรงดันตกในวงจร 239
9.6 ตารางแรงดันตก 240
9.7 ตารางแรงดันตกไม่เกิน 2 % และ 3 % สำหรับการติดตั้งกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 5 245

บทที่ 10 การต่อลงดิน

10.1 บทนำ 247
10.2 ชนิดการต่อลงดินและส่วนประกอบต่างๆ 247
10.3 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า 249
10.4 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ประธาน 256
10.5 การต่อลงดินของวงจรที่มีบริภัณฑ์ประธานชุดเดียวจ่ายไฟให้อาคาร 2 หลังหรือมากกว่า 261
10.6 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก 262
10.7 การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า 264
10.8 หลักดิน 273

บทที่ 11 การคำนวณกระแสลัดวงจร

11.1 บทนำ 287
11.2 มาตรฐานการคำนวณกระแสลัดวงจร 288
11.3 แหล่งจ่ายไฟสมมูล 290
11.4 อิมพีแดนซ์ลัดวงจร 293

หน้า

11.5 การคำนวณกระแสลัดวงจร 304
11.6 ตัวอย่างการคำนวณกระแสลัดวงจร 306
11.7 การคำนวณกระแสลัดวงจรด้วยคอมพิวเตอร์ 314
11.8 ตารางค่ากระแสลัดวงจร 314

บทที่ 12 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการติดตั้งทางไฟฟ้าและการเดินสาย

12.1 บทนำ 317
12.2 ข้อกำหนดทั่วไปในการติดตั้งทางไฟฟ้า 317
12.3 ข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายของระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ 330

ภาคผนวก

ภาคผนวก A จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย 351
ภาคผนวก B จำนวนสายไฟฟ้าในรางเดินสาย 361
ภาคผนวก C ขนาดสายดิน 367
ภาคผนวก D ขนาดสายไฟ และท่อตามขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าระบบจ่ายไฟฟ้า 240 / 416 V ของ กฟน. 371
ภาคผนวก E ขนาดสายไฟฟ้าตามขนาด CB ในท่อร้อยสาย 377
ภาคผนวก F ขนาดสายไฟฟ้าตามขนาด CB บนรางเคเบิล 399
ภาคผนวก G สายเมนหม้อแปลง LV 230 / 400 V, 240 / 416 V 409
ภาคผนวก H แรงดันตกตามการติดตั้งกลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 5 435
ภาคผนวก M สาย ท่อ CB ของ Motors 451
ภาคผนวก S กระแสลัดวงจร 461

เอกสารอ้างอิง 476

บทที่ 1
ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.1 บทนำ

ระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย ระบบการผลิต ระบบการส่ง ระบบการจำหน่าย และระบบการใช้กำลังไฟฟ้า โดยแต่ละระบบมีลักษณะดังนี้

- **ระบบการผลิต** (Generating System) หมายถึง ระบบที่มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานรูปอื่นๆ มาเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น เปลี่ยนจากพลังงานศักย์ของน้ำ หรือ พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมาเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

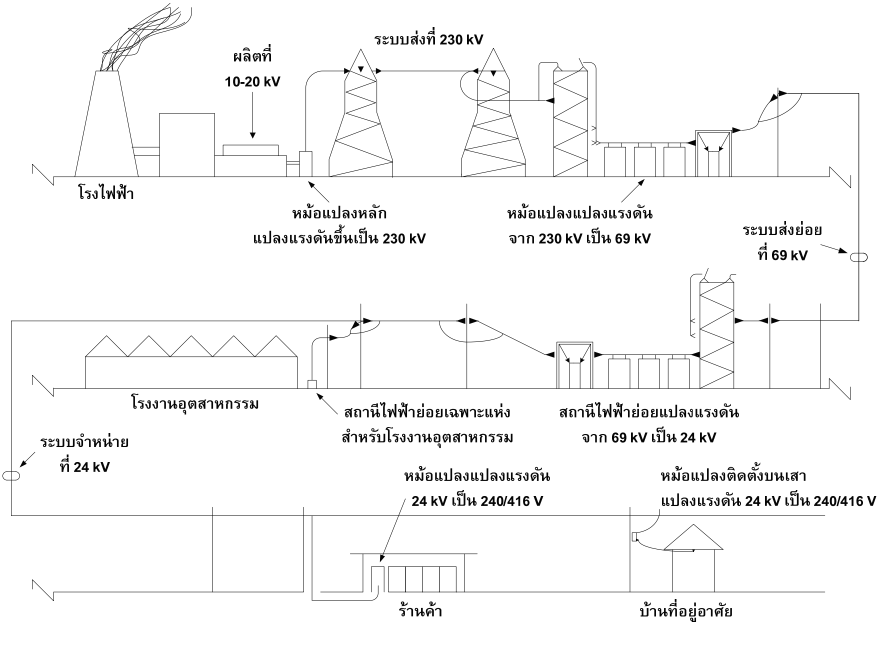
ระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย โรงไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาที่แรงดันประมาณ 10 - 20 kV แล้วทำการแปลงระดับแรงดันให้เป็นแรงดันสูงขึ้นที่ลานไกไฟฟ้า (Switch Yard) เพื่อที่จะเข้าสู่ระบบการส่งต่อไป

- **ระบบการส่ง** (Transmission System) หมายถึง ระบบการส่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบการผลิตไปยังระบบการจำหน่าย เพื่อจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าต่อไป โดยจะทำการส่งในระดับแรงดันสูงเพื่อลดการสูญเสียพลังงานในสายส่งซึ่งจะทำให้การส่งกำลังไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้น ระบบการส่งโดยทั่วไปประกอบด้วยสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและบริภัณฑ์ที่ใช้ส่งกำลังไฟฟ้าอื่นๆ

- **ระบบการจำหน่าย** (Distribution System) หมายถึง ระบบไฟฟ้าที่รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบการส่งแล้วลดระดับแรงดันลงจากแรงดันสูงให้เป็นแรงดันปานกลาง เพื่อที่จะให้ระบบการใช้ไฟฟ้าต่อไป

ระบบการจำหน่ายโดยทั่วไปประกอบด้วย สถานีจำหน่ายไฟฟ้าย่อย สายจำหน่ายแรงดันปานกลาง หม้อแปลงจำหน่าย และสายจำหน่ายแรงดันต่ำ

- **ระบบการใช้กำลังไฟฟ้า** (Utilization System) หมายถึง ระบบไฟฟ้าที่รับกำลังไฟฟ้าจากระบบการจำหน่ายที่มีระดับแรงดันปานกลาง แล้วทำการลดระดับแรงดันลงให้เป็นแรงดันต่ำ เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับบริภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ



รูปที่ 1.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง

1.2 การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยในการผลิตและการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ดำเนินงานโดยหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ 3 แห่ง ซึ่งแต่ละหน่วยงานก็มีหน้าที่รับผิดชอบแตกต่างกันไป ดังนี้คือ

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)
  Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT)
- การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)
  Metropolitan Electricity Authority (MEA)
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)
  Provincial Electricity Authority (PEA)

1.3 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีหน้าที่จัดหาแหล่งพลังงานและผลิตกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของประเทศ รวมทั้งมีอำนาจในการจัดซื้อ หรือขายกำลังไฟฟ้ากับประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียง แล้วจัดส่งต่อให้การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระบบการส่ง (Transmission System)

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ใช้ระบบสายส่งแรงดันสูง 4 ระดับแรงดัน คือ

500 kV 3 เฟส 3 สาย 50 Hz

230 kV 3 เฟส 3 สาย 50 Hz

115 kV 3 เฟส 3 สาย 50 Hz

69 kV 3 เฟส 3 สาย 50 Hz

1.4 การไฟฟ้านครหลวง

การไฟฟ้านครหลวง มีหน้าที่บริการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าในเขต 3 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และนนทบุรี

ระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้านครหลวงอาจแบ่งได้ 3 ระบบ ดังนี้คือ

1. **ระบบการส่งกำลังไฟฟ้าย่อย** (Sub-transmission System)

การไฟฟ้านครหลวง จะรับกำลังไฟฟ้ามาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และทำการส่งกำลังไฟฟ้าไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยในระบบแรงดันสูง 230 kV, 115 kV และ 69 kV

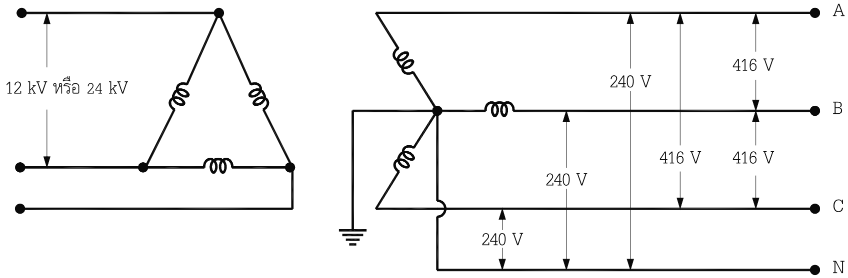
2. **ระบบการจำหน่าย** (Distribution System)

การไฟฟ้านครหลวงมีสถานีไฟฟ้าย่อยอยู่หลายแห่งในเขตพื้นที่รับผิดชอบ โดยที่สถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแห่งจะ มีหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer) จำนวน 2-4 ชุด เพื่อที่จะแปลงไฟฟ้าระดับแรงดันสูง 115 kV หรือ 69 kV ไปเป็นระดับแรงดันปานกลาง 12 kV หรือ 24 kV ซึ่งในอนาคต กฟน. จะทำการเปลี่ยนมาใช้ระบบ 24 kV ทั้งหมด ดังนั้น ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าในบริเวณที่ยังคงใช้ระบบ 12 kV จึงควรเลือกใช้หม้อแปลงชนิด Dual Voltage 12/24 kV เพื่อที่จะได้สามารถเปลี่ยนระบบแรงดันจาก 12 kV ไปเป็น 24 kV ได้โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนหม้อแปลง

3. **ระบบการใช้กำลังไฟฟ้า** (Utilization System)

การไฟฟ้านครหลวงจะติดตั้งหม้อแปลงที่บริเวณที่จะใช้ไฟฟ้า โดยหม้อแปลงจำหน่ายจะแปลงไฟฟ้าจากระดับแรงดัน 24 kV หรือ 12 kV ไปเป็นระดับแรงดัน 240/416 V 3 เฟส 4 สาย ดังรูปที่ 1.2

แม้ว่าทางด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงจะมีแรงดันพิกัดเป็น 240/416 V ก็ตาม แต่ กฟน. ให้ใช้ แรงดันพิกัดระบุของด้านแรงดันต่ำเป็น 220/380 V 3 เฟส 4 สาย



รูปที่ 1.2 ระบบการใช้กำลังไฟฟ้า ของ กฟน.

1.5 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีหน้าที่ในการจัดหาและจำหน่ายไฟฟ้าให้ทุกจังหวัดของประเทศไทย ยกเว้นจังหวัดที่อยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง

ระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอาจแบ่งได้ 3 ระบบดังนี้

1. **ระบบการส่งกำลังไฟฟ้าย่อย** (Sub-transmission System)

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาครับกำลังไฟฟ้ามาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย แล้วทำการจัดส่งกำลังไฟฟ้าด้วยระบบ 115 kV และ 69 kV

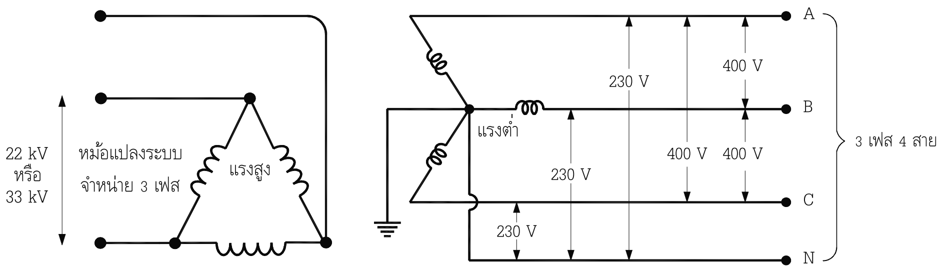
2. **ระบบการจำหน่าย** (Distribution System)

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้ระบบแรงดันจำหน่ายอยู่ 2 ระบบ ได้แก่

- ระบบแรงดัน 22 kV (Conventional Solidly Grounded System) จังหวัดส่วนใหญ่เกือบทั่วทั้งประเทศจะใช้ระบบนี้ ยกเว้นจังหวัดทางภาคใต้ และบางจังหวัดในภาคเหนือ
- ระบบแรงดัน 33 kV (Multigrounded System With Overhead Ground Wire) ใช้ในภาคใต้ ตั้งแต่จังหวัดระนองลงไป

3. **ระบบการใช้กำลังไฟฟ้า** (Utilization System)

ระบบการใช้กำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะเป็นระบบแรงดันต่ำ 230/400 V 3 เฟส 4 สายดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ระบบการใช้กำลังไฟฟ้าแรงดันต่ำ 3 เฟส 4 สาย

1.6 การจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า

ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้านั้น ทางการไฟฟ้าฯ จะพิจารณาว่าอาคารที่อยู่อาศัยหรือสถานประกอบการนั้น มีการใช้ปริมาณไฟฟ้าเป็นเท่าใด ถ้าหากอาคารที่อยู่อาศัยหรือสถานประกอบการนั้น ใช้โหลดน้อยกว่า 300 kVA ทางการไฟฟ้าฯ ก็จะจ่ายไฟฟ้าให้เป็นระบบแรงดันต่ำ (Low Voltage) สำหรับอาคารหรือสถานประกอบการขนาดใหญ่ที่มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณสูง คือ ใช้โหลดตั้งแต่ 300 kVA ขึ้นไปนั้น ทางการไฟฟ้าฯ จะจ่ายไฟฟ้าให้เป็นระบบแรงดันปานกลาง (Medium Voltage)

สำหรับอาคารหรือสถานประกอบการที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงมาก ทางการไฟฟ้าฯ จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ในระบบแรงดันสูง (High Voltage) 115 kV หรือ 69 kV ซึ่งอาจต้องมีการสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของการไฟฟ้าฯ

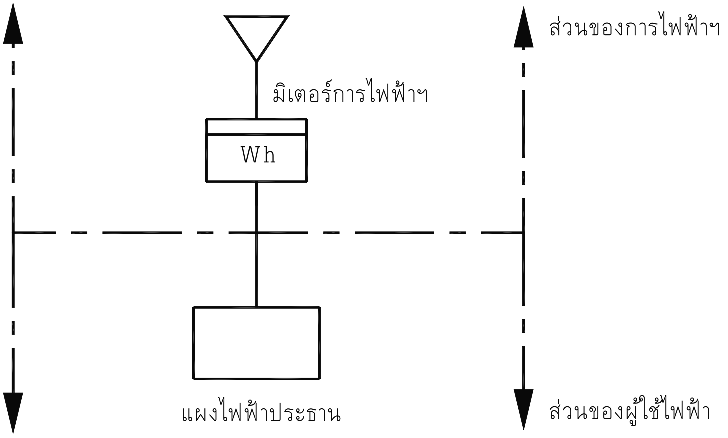
ขนาดมิเตอร์ของการไฟฟ้านครหลวง

ในการติดตั้งมิเตอร์สำหรับอาคาร หรือ สถานประกอบการต่างๆ นั้น จะต้องพิจารณาเลือกขนาดของมิเตอร์ตามความเหมาะสมกับโหลด โดยมิเตอร์ก็จะแบ่งออกเป็นหลายขนาด ดังต่อไปนี้

1. **มิเตอร์ระบบ 220 V** 1 เฟส 2 สาย จะมีขนาดดังนี้
   - 5 (15A) , 220 V
   - 15 (45A) , 220 V
   - 30 (100A) , 220 V
   - 50 (150A) , 220 V
2. **มิเตอร์ระบบ 220/380 V** 3 เฟส 4 สาย จะมีขนาดดังนี้
   - 15 (45A) , 380 V
   - 30 (100A) , 380 V
   - 50 (150A) , 380 V
   - 200 A , 380 V
   - 400 A , 380 V
3. **มิเตอร์ระบบ 12 kV** 3 เฟส 3 สาย จะมีขนาดตั้งแต่ 15 A (300 kVA) ไปจนถึง 750 A (15000 kVA)
4. **มิเตอร์ระบบ 24 kV** 3 เฟส 3 สาย จะมีขนาดตั้งแต่ 10 A (400 kVA) ไปจนถึง 625 A (25000 kVA)

ลักษณะการจ่ายไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าฯ กับผู้ใช้ไฟฟ้า

- **แรงดันต่ำ** ในกรณีที่การไฟฟ้าฯ จ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำนั้น จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.4 โดยจะมีมิเตอร์เป็นตัวแบ่งแยกทรัพย์สินระหว่างการไฟฟ้าฯ กับผู้ใช้ไฟฟ้า



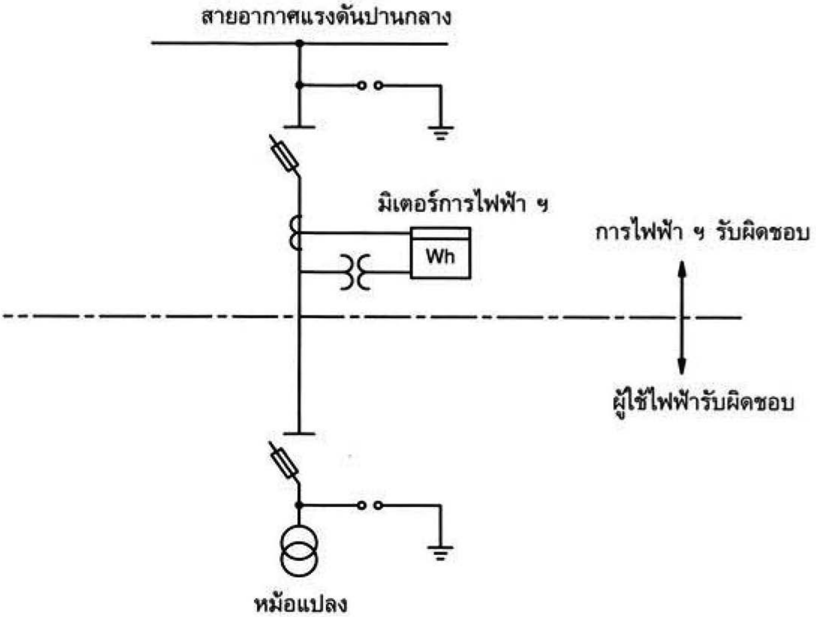
รูปที่ 1.4 การจ่ายไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ

- **แรงดันปานกลาง** ในกรณีที่การไฟฟ้าฯ จ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ในระบบแรงดันปานกลางนั้น ลักษณะการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ จะขึ้นอยู่กับระบบของการไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ และ ระบบของสถานประกอบการ ลักษณะการจ่ายไฟฟ้าแรงดันปานกลางให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า ของการไฟฟ้าฯ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี ดังนี้

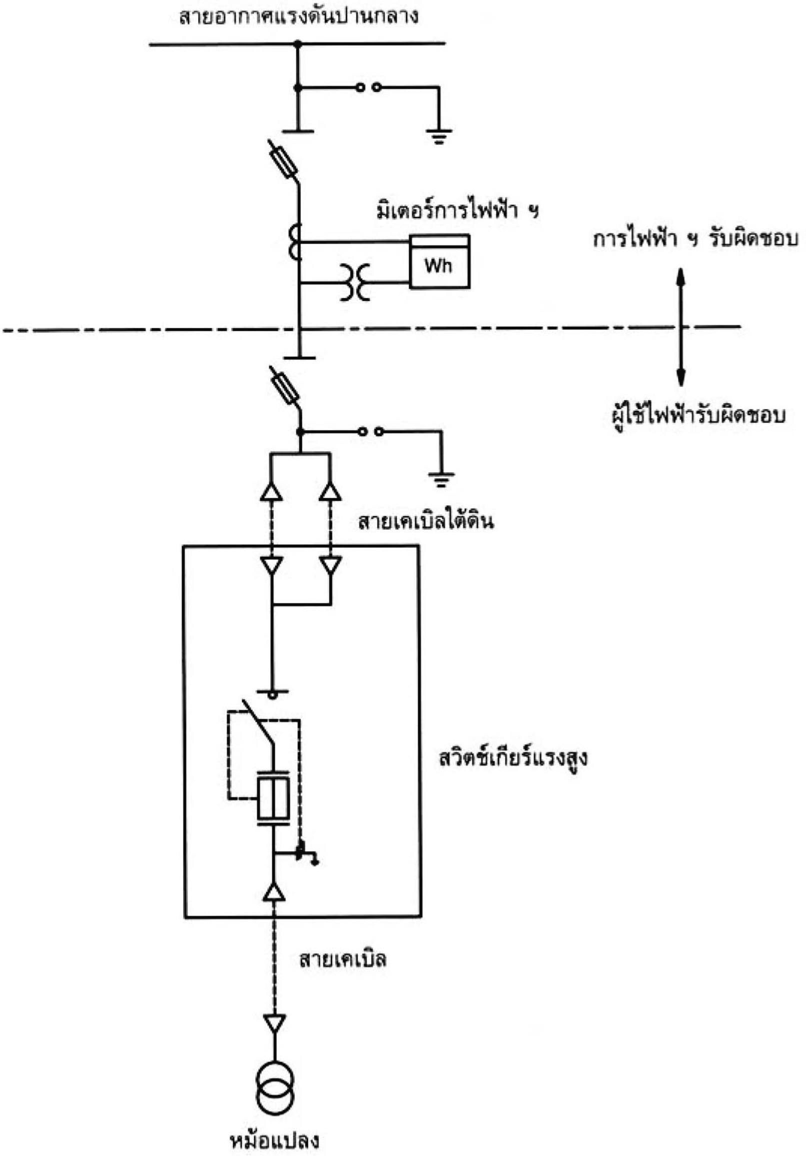
  - ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟฟ้าด้วยสายอากาศ จากสายป้อนอากาศของการไฟฟ้าฯ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.5

  - ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟฟ้าด้วยสายไฟฟ้าใต้ดิน จากสายป้อนอากาศของการไฟฟ้าฯ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.6

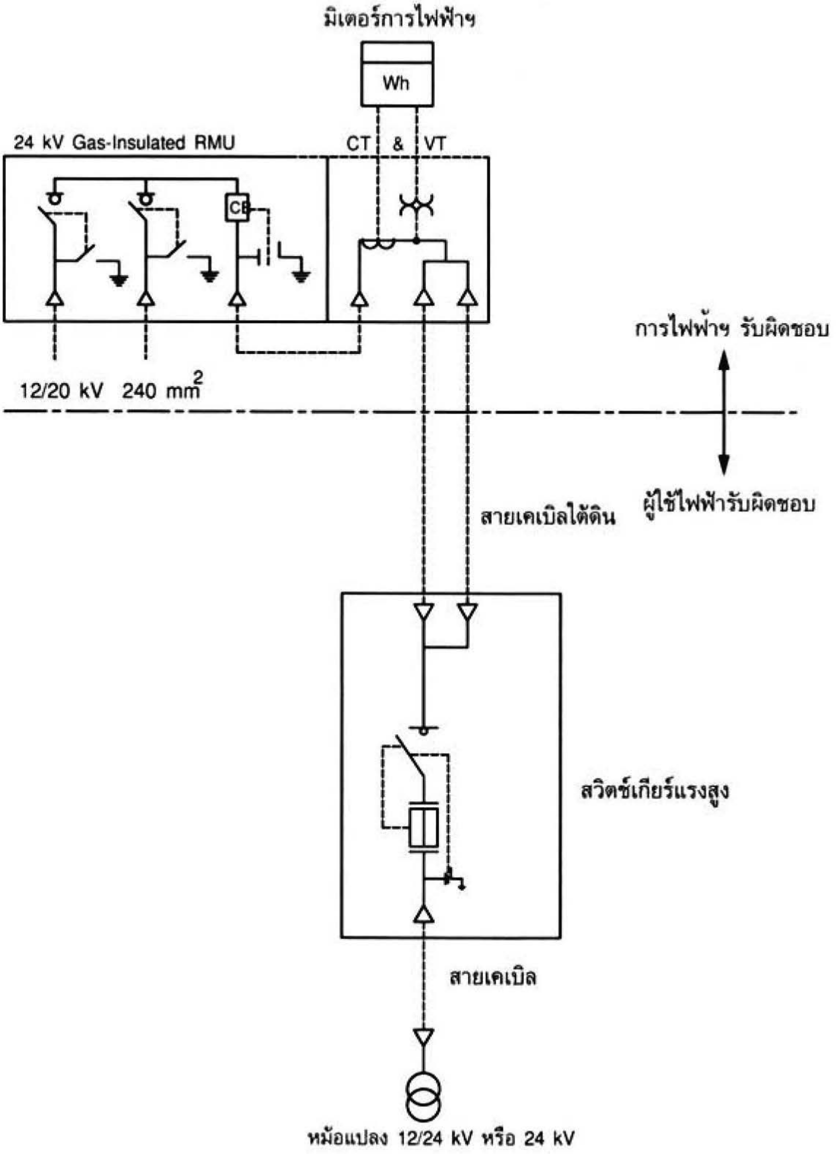
- ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟฟ้าด้วยสายไฟฟ้าใต้ดิน จากสายป้อนใต้ดินของการไฟฟ้าฯ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.5 ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟด้วยสายอากาศ จากสายป้อนอากาศของการไฟฟ้าฯ



รูปที่ 1.6 ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟด้วยสายใต้ดิน จากสายป้อนอากาศของการไฟฟ้าฯ



รูปที่ 1.7 ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟด้วยสายใต้ดิน จากสายป้อนใต้ดินของการไฟฟ้าฯ

1.7 การจัดวงจรการจ่ายไฟฟ้า (Distribution Circuit Arrangements)

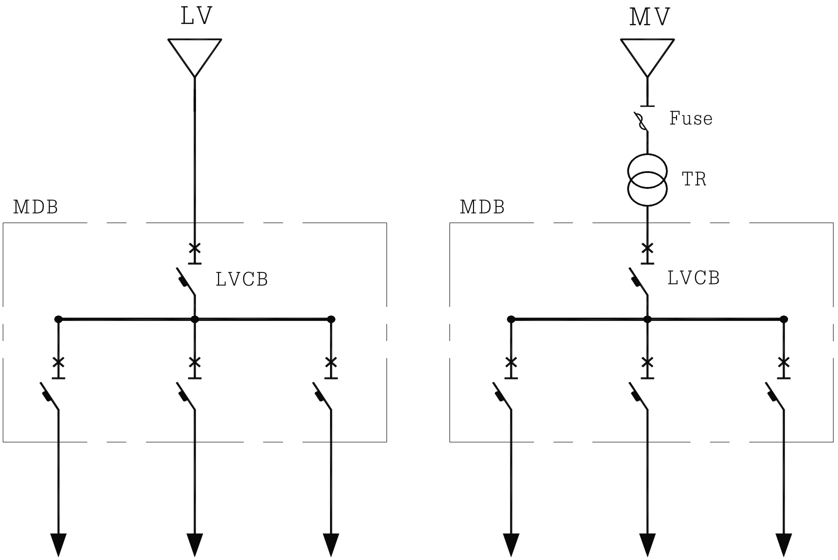
ในการออกแบบระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับอาคาร หรือสถานประกอบการต่างๆ นั้น ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ หลายประการด้วยกัน ได้แก่ ความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ การบำรุงรักษา ความยืดหยุ่น และความประหยัด เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว ลักษณะของการบริการทางไฟฟ้าซึ่งอยู่บริเวณสถานที่นั้น ลักษณะของโหลดคุณภาพของการบริการที่สถานที่ต้องการ และขนาดของอาคาร ก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ที่ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาด้วยว่าจะเลือกหรือออกแบบระบบการจ่ายไฟฟ้าแบบใดจึงจะเหมาะสมที่สุด

ระบบไฟฟ้าพื้นฐานที่ใช้ในการจ่ายไฟให้กับผู้ใช้ สามารถจัดเป็น 5 แบบ คือ

1. Radial System
2. Primary-Selective System
3. Secondary-Selective System
4. Secondary Spot Network System
5. Looped Primary System

1. Radial System

ในกรณีที่ไฟฟ้า ถูกส่งมายังอาคารในระบบแรงดันใช้งาน รูปแบบการจ่ายไฟฟ้าแบบนี้ก็จะเป็นแบบที่ง่ายและมีราคาถูกที่สุด โดยไฟฟ้าจะถูกส่งเข้ามาในระบบแรงดันต่ำ ผ่านบริภัณฑ์ป้องกันต่างๆ จากนั้นจึงจ่ายต่อไปยังโหลดหรือตู้จ่ายไฟต่อไป ส่วนในกรณีที่ไฟฟ้าถูกส่งมาในระบบแรงดันปานกลางก็ต้องมีหม้อแปลงเพื่อแปลงไฟฟ้าให้ได้ระดับแรงดันปานกลางเป็นระดับแรงดันใช้งานเสียก่อน โดยจะต้องมีบริภัณฑ์ป้องกัน ได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์ ทั้งด้านแรงดันปานกลาง และด้านแรงดันต่ำ ดังแสดงในรูป 1.8

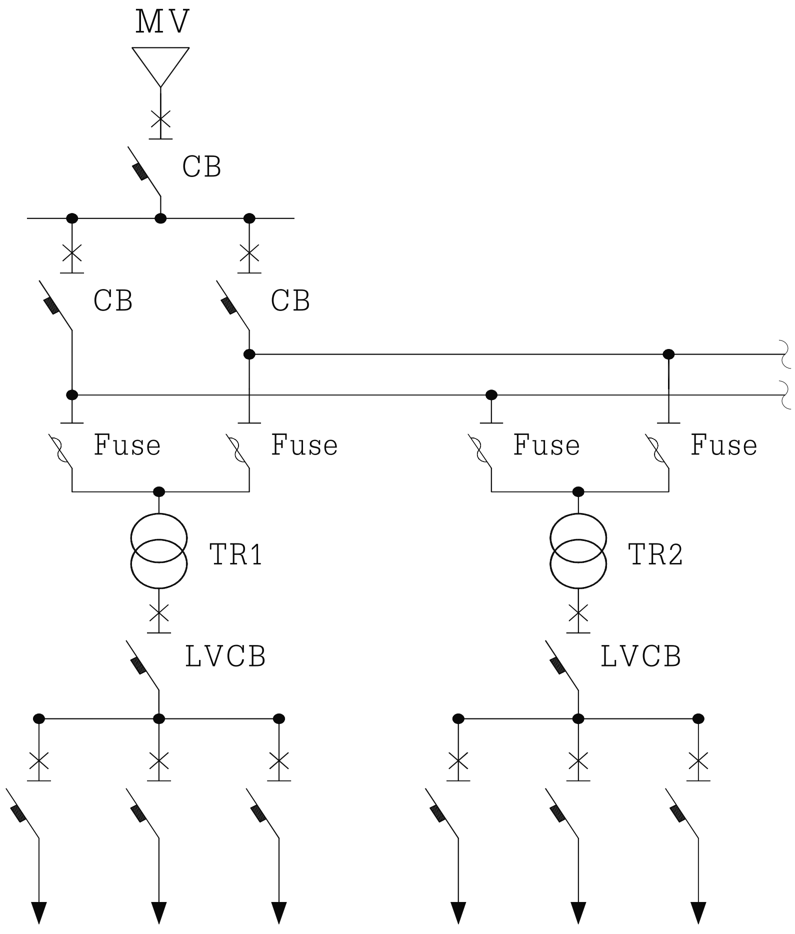


LV = Low Voltage
MV = Medium Voltage
TR = Transformer
MDB = Main Distribution Board
LVCB = Low Voltage Circuit Breaker

รูปที่ 1.8 การจ่ายไฟฟ้าแบบ Radial Circuit

2. Primary-Selective System

การจ่ายไฟฟ้าแบบนี้จะเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบให้มากขึ้น โดยจะลดปัญหาที่เกิดจากการเกิดการผิดพร่อง (Fault) ที่สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) ลง ลักษณะการจัดวงจรก็คือจะเพิ่มสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) และสวิตซ์สำหรับตัดโหลด (Load Break Switch) ขึ้นอีกชุดหนึ่ง สำหรับหม้อแปลงแต่ละตัว ดังรูป 1.9

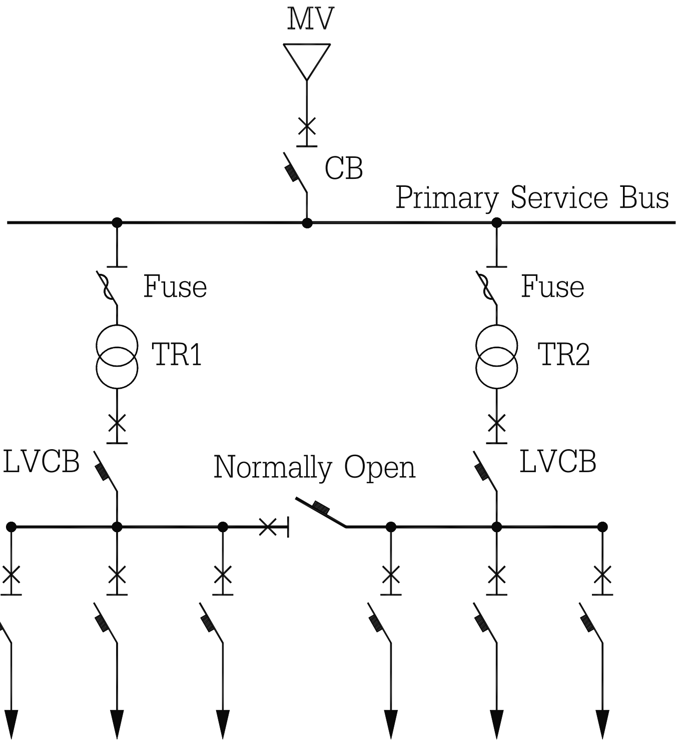


รูปที่ 1.9 การจ่ายไฟฟ้าแบบ Primary Selective

ในสภาวะการทำงานปกติ สวิตซ์จะถูกปิดอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยให้สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) แต่ละชุดจ่ายโหลดเท่าๆ กัน ถ้ามีการเกิดการผิดพร่อง (Fault) ที่สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) ชุดใดชุดหนึ่ง การตัดต่อวงจรก็จะเกิดขึ้น ทำให้สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) อีกชุดหนึ่งเข้ามาจ่ายไฟฟ้าแทนทันที ดังนั้นสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) แต่ละชุดจะต้องสามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลดทั้งหมดได้ นอกจากนี้คู่ของฟิวส์ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะต้องทำการยึดระหว่างกันด้วย เพื่อป้องกันการปิดวงจรพร้อมกัน และการตัดต่อวงจรอาจเป็นแบบใช้มือ หรือเป็นระบบอัตโนมัติก็ได้

3. Secondary-Selective System

การจ่ายไฟฟ้าแบบนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 1.10 ในสภาวะการทำงานปกติ ก็จะเหมือนกับระบบ Radial 2 ชุดแยกจากกัน และเซอร์กิตเบรกเกอร์ต่อเชื่อมบัสทุติยภูมิ (Secondary Bus) จะเปิดอยู่ โหลดจะถูกแบ่งให้ประมาณเท่าๆ กันในแต่ละบัสถ้ามีการเกิดการผิดพร่อง (Fault) ขึ้นที่สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) หรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่ง โหลดทั้งหมดที่ต่ออยู่กับบัสนั้นก็จะไม่มีไฟฟ้า แต่เนื่องจากอีกบัสหนึ่งยังคงมีไฟฟ้าอยู่ จึงสามารถใช้ไฟฟ้าจากอีกบัสหนึ่งได้ โดยเริ่มจากเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ด้านที่มีการเกิดการผิดพร่อง (Fault) จากนั้นก็ปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ต่อเชื่อมบัสทุติยภูมิ (Secondary Bus) ส่วนเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักทางด้านทุติยภูมิทั้ง 2 ตัว ควรจะมีการยึดระหว่างกันกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ต่อเชื่อมบัสทุติยภูมิ (Secondary Bus) ด้วยเพื่อเป็นการป้องกันหม้อแปลงทั้ง 2 ตัว ไม่ให้ทำงานแบบขนานกัน

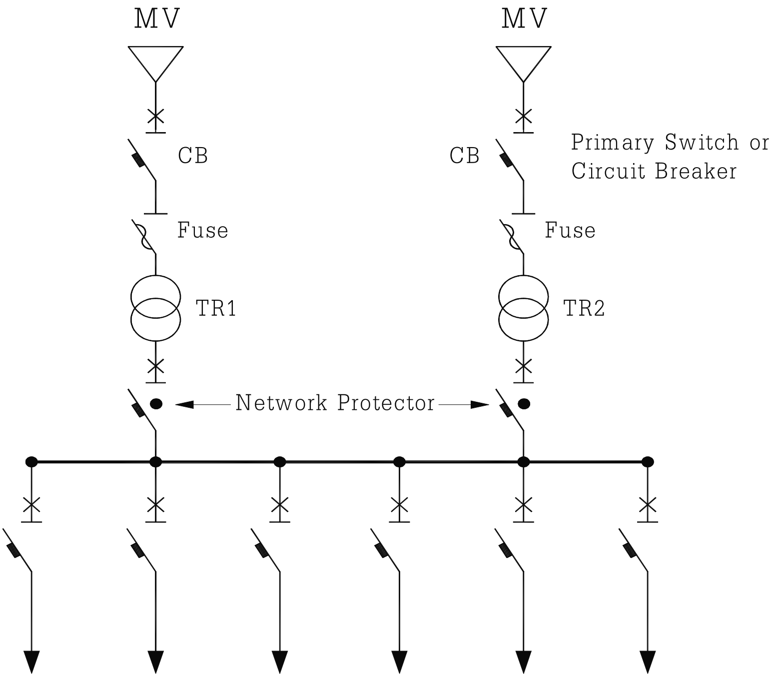


รูปที่ 1.10 การจ่ายไฟฟ้าแบบ Secondary Selective

จะเห็นว่าการจ่ายไฟฟ้าแบบนี้ จะสามารถเพิ่มความเชื่อถือได้ให้สูงขึ้นกว่าแบบ Primary Selective ในกรณีเกิดการผิดพร่อง (Fault) ที่หม้อแปลง แต่ราคาของการจัดวงจรแบบนี้ก็จะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากจะต้องเผื่อขนาดของหม้อแปลง และสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) ให้สามารถจ่ายโหลดทั้ง 2 บัสได้ ทั้งนี้ราคาก็จะขึ้นอยู่กับการเผื่อขนาดไว้เพียงใด

4. Secondary Spot Network System

รูปที่ 1.11 จะแสดงถึงการจัดวงจรแบบ Secondary Spot Network แบบง่ายๆ โดยจะประกอบไปด้วยหม้อแปลงที่เหมือนกัน 2 ลูก หรือมากกว่า ซึ่งจะรับไฟฟ้ามาจากสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) แยกกันลูกละชุด หม้อแปลงเชื่อมต่อกันทางบัสด้านแรงต่ำผ่านตัวป้องกันวงจรข่าย (Network Protector) โดยที่หม้อแปลงทั้งหมดทำงานแบบขนานกัน ตัวป้องกันวงจรข่าย (Network Protector) ซึ่งเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ถูกควบคุมโดยรีเลย์ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะเปิดวงจรโดยอัตโนมัติเมื่อมีกำลังไฟฟ้าไหลจากด้านแรงดันต่ำเข้าสู่หม้อแปลง



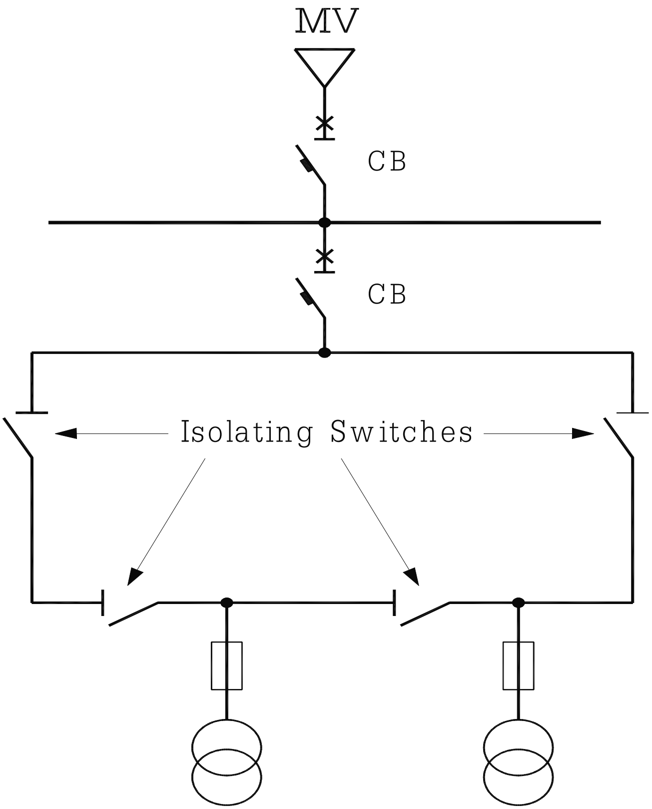
รูปที่ 1.11 การจ่ายไฟฟ้าแบบ Secondary Spot Network

ในสภาวะการทำงานปกติ หม้อแปลงแต่ละตัวจะรับโหลดเท่าๆ กัน เมื่อมีการเกิดการผิดพร่อง (Fault) ขึ้นที่หม้อแปลง หรือที่สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) ชุดใดชุดหนึ่ง ตัวป้องกันวงจรข่าย (Network Protector) ของหม้อแปลงชุดนั้นจะเปิดวงจร เพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับจากทางด้านแรงต่ำเข้าสู่หม้อแปลง และหม้อแปลงตัวที่เหลือก็จะทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลดแทนทำให้สามารถจ่ายไฟฟ้าให้โหลดได้อย่างต่อเนื่องไม่ขาดตอน

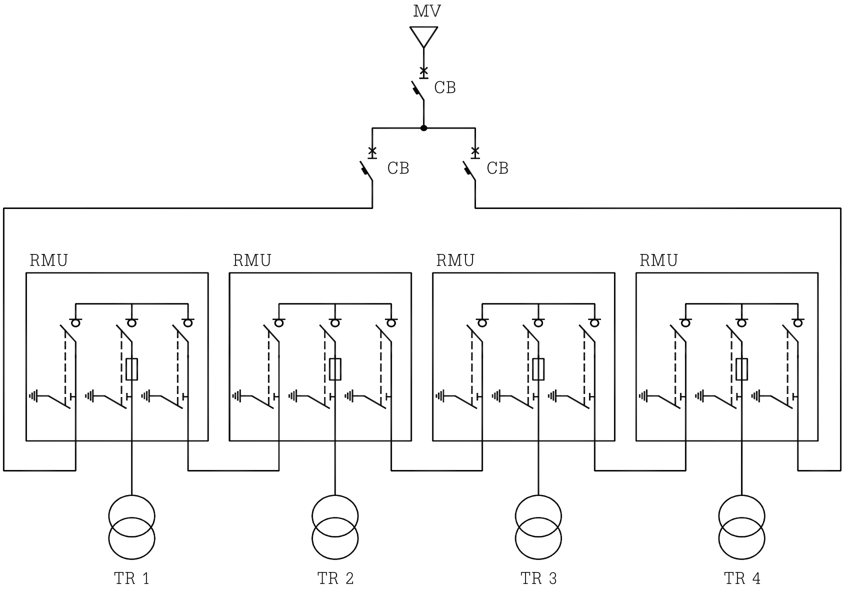
การจัดวงจรแบบ Secondary Spot Network จะเป็นการจัดวงจรที่มีความเชื่อถือได้มากที่สุด สำหรับการจ่ายโหลดมากๆ โอกาสที่จะเกิดไฟฟ้าดับจะเกิดขึ้นได้เฉพาะเมื่อมีการเกิดการผิดพร่อง (Fault) พร้อมๆ กันทางด้านปฐมภูมิหรือเกิดการผิดพร่อง (Fault) ที่บัสด้านทุติยภูมิ (Secondary Bus) เท่านั้น อย่างไรก็ตามระบบนี้เป็นระบบที่มีราคาแพง ซึ่งนอกจากจะต้องเผื่อขนาดของหม้อแปลงและสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) แล้ว โดยทั่วไปตัวป้องกันวงจรข่าย (Network Protector) ก็มีราคาแพงอีกด้วย

5. Looped Primary System

การจัดวงจรแบบ Looped Primary System มีสองแบบ โดยรูปที่ 1.12 เป็นระบบวงรอบปิด (Close Loop) ซึ่งเป็นระบบเก่า ส่วนรูปที่ 1.13 เป็นระบบวงรอบเปิด (Open Loop) ซึ่งเป็นระบบใหม่ที่นิยมใช้มากกว่าระบบวงรอบปิด จะทำงานโดยปิดสวิตซ์ทั้งหมดของวงจรดังรูปที่ 1.13 แม้ว่าระบบนี้จะมีราคาไม่แพงแต่ก็ไม่เป็นที่นิยมใช้ โดยจะนิยมใช้แบบวงรอบเปิดมากกว่า เนื่องจากเมื่อเกิดการผิดพร่อง (Fault) ที่ส่วนหนึ่งส่วนใดในวงรอบจะทำให้การจ่ายไฟหยุดชะงักลง และจะหาจุดที่เกิดการผิดพร่อง (Fault) ได้ยาก



รูปที่ 1.12 การจ่ายไฟฟ้าแบบ Close Looped Primary



รูปที่ 1.13 การจ่ายไฟฟ้าแบบ Open Looped Primary

ส่วนระบบวงรอบเปิด ซึ่งถูกออกแบบเพื่อใช้กับสายส่งใต้ดินจะใช้ Ring Main Unit (RMU) เป็นตัวตัดต่อระบบจากโหลดเมื่อเกิดการผิดพร่อง (Fault) โดยจะทำการเปิดวงจรเมื่อเกิดการผิดพร่อง (Fault) และจะปิดวงจรเมื่อได้ทำการแก้ไขระบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เมื่อวงจรใดวงจรหนึ่งเกิดการผิดพร่อง (Fault) ขึ้น อีกวงจรก็จะทำหน้าที่จ่ายโหลดให้เมื่อซ่อมแซมแก้ไขส่วนที่เกิดการผิดพร่อง (Fault) เรียบร้อยแล้ววงจรก็จะทำงานแบบอิสระโดยแต่ละวงจรต่างก็จ่ายโหลดของตัวเองต่อไป ข้อเสียของระบบนี้คือราคาของอุปกรณ์จะมีราคาสูง เพราะว่าต้องใช้สายไฟฟ้าขนาดใหญ่ และต้องมีอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ มากมาย

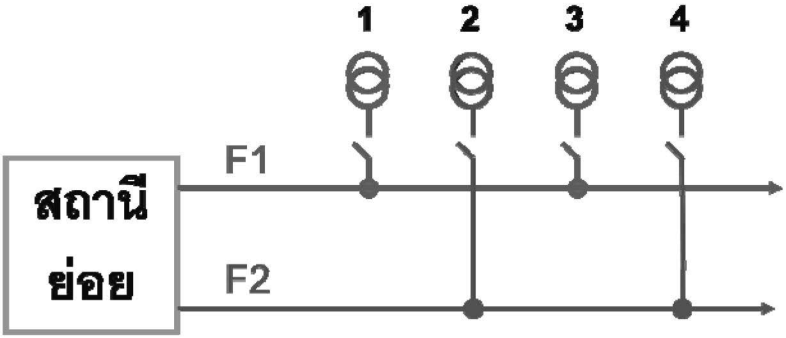
1.8 ระบบการจ่ายไฟฟ้าสายป้อนใต้ดิน

ปัจจุบันในเมืองใหญ่ได้มีการนำสายป้อน ทั้งระบบแรงสูง ระบบปานกลาง และระบบแรงต่ำ ลงใต้ดินเพื่อความปลอดภัยและสวยงาม

1.8.1 **ระบบการจ่ายไฟฟ้าสายป้อนใต้ดิน** อาจทำได้ดังนี้

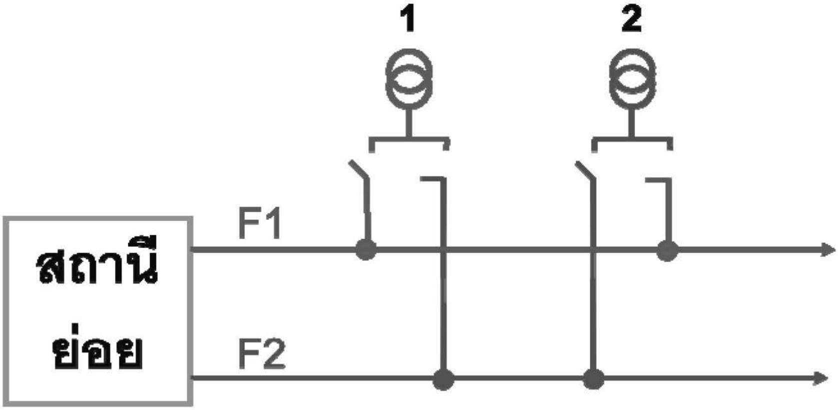
- Radial
- Primary Selective
- Open Loop
- Special Spare Line

ระบบ Radial



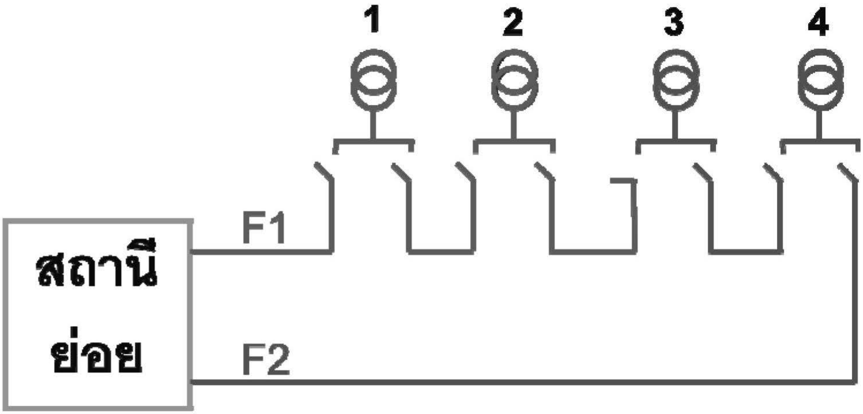
- จ่ายไฟด้วยสายป้อนจุดเดียว ไม่มีสำรอง
- อุปกรณ์ไฟใช้ Switchgear 1 Bay
- จ่ายไฟฟ้าให้หม้อแปลง Network ในเขตวงจรตาข่ายเท่านั้น

ระบบ Primary Selective



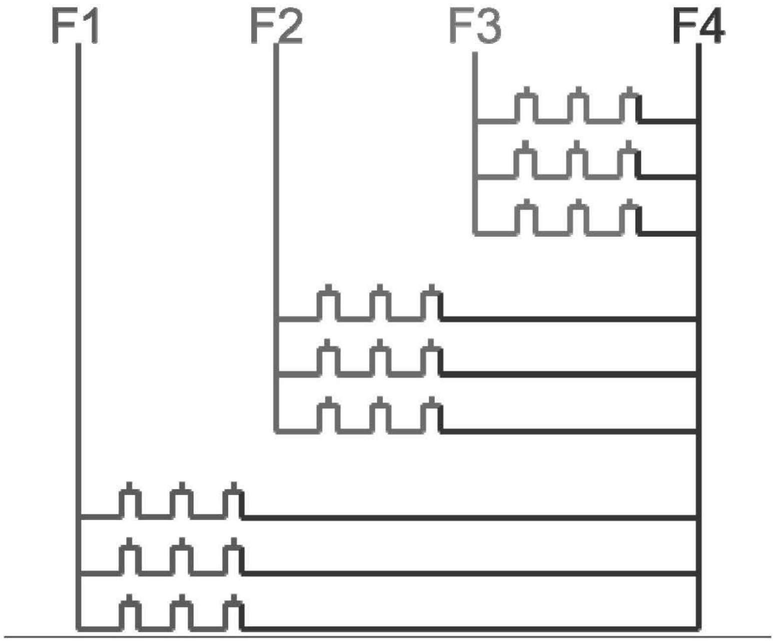
- จ่ายไฟ 1 สายป้อน สำรอง 1 สายป้อน
- สายป้อนทั้ง 2 มาจาก
  - ต่างสถานีย่อย
  - ต่าง Bay ของสถานีย่อย
- อุปกรณ์รับไฟใช้ RMU 3 Bay หรือ ATS

ระบบ Loop



- การจ่ายไฟด้วย 1 สายป้อน และ สำรองด้วยอีกสายป้อน ต่ออนุกรมกัน
- สายป้อนทั้ง 2 มาจาก
    ต่างสถานีย่อย
    ต่าง Bay ของสถานีย่อย
- อุปกรณ์รับไฟใช้ RMU 3 Bay หรือ 4 Bay

ระบบ Special Spare Line



- จ่ายไฟด้วย 1 สายป้อนและสำรองอีกสายป้อน
- รูปผสมระหว่าง Primary Selective กับ Loop
- สายป้อนทั้ง 2 มาจากต่างสถานีย่อย ต่าง Bay ในสถานีย่อยเดียวกัน
- อุปกรณ์รับไฟใช้ RMU 3 Bay หรือ ATS

1.8.2 โหลดของการจ่ายไฟแบบ Loop

สำหรับสายป้อนแรงดันปานกลางอาจแบ่งได้เป็น

กรณี 1 Loop

โหลดต้องไม่เกิน 4000 kVA

กรณี 2 Loop

โหลด 4001 - 8000 kVA

กรณี 3 Loop

โหลด 8001 - 15000 kVA

บทที่ 2 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

2.1 บทนำ

สายไฟฟ้ามีหน้าที่สำหรับนำพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟไปยังบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตสายไฟฟ้าขึ้นมากมายหลายชนิดตามความต้องการสำหรับการติดตั้งในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นการเลือกใช้สายไฟฟ้าเพื่อให้มีความเหมาะสมปลอดภัย ประหยัด และเชื่อถือได้ จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายประการด้วยกัน ได้แก่ ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ความสามารถในการนำกระแสของตัวนำ ขนาดแรงดันตกที่เกิดขึ้น ความสามารถในการทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งในขณะใช้งานปกติและขณะเกิดการลัดวงจร สายไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็นสายไฟฟ้าที่ใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 1000 V มีลักษณะเป็นสายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน โดยที่ตัวนำสายไฟฟ้าชนิดนี้อาจจะใช้ทองแดงหรืออะลูมิเนียม แต่ที่นิยมใช้สำหรับสายไฟฟ้าแรงดันต่ำคือ ตัวนำทองแดง ถ้ามีขนาดใหญ่จะมีลักษณะเป็นตัวนำตีเกลียว แต่ถ้ามีขนาดเล็ก ตัวนำก็จะเป็นตัวนำเดี่ยว วัสดุฉนวนที่นิยมใช้กับสายไฟฟ้าแรงดันต่ำได้แก่ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross Linked Polyethylene (XLPE)

2.2 ส่วนประกอบ

สายไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ตัวนำ ฉนวน และเปลือก

2.2.1 ตัวนำ

ตัวนำของสายไฟฟ้าทำมาจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงอาจจะอยู่ในรูปของตัวนำเดี่ยว (Solid) หรือตัวนำตีเกลียว (Strand) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวนำเล็กๆ ตีเข้าด้วยกันเป็นเกลียวซึ่งมีข้อดีคือการนำกระแสต่อพื้นที่หน้าตัดสูงขึ้นเนื่องจากผลของ Skin Effect ลดลงและการเดินสายทำได้ง่ายเพราะมีความอ่อนตัวกว่า โลหะที่นิยมใช้เป็นตัวนำได้แก่ทองแดงและอะลูมิเนียม โดยโลหะทั้งสองชนิดมีข้อดีข้อเสียต่างกันไปตามแต่ลักษณะของงาน ตารางที่ 2.1 จะเปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอะลูมิเนียม

ทองแดง เป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงมากมีความแข็งแรง เหนียวทนต่อการกัดกร่อนได้ดีแต่มีข้อเสีย คือมีน้ำหนักมากและราคาสูงจึงไม่เหมาะสำหรับงานด้านระบบสายส่งแรงดันสูงแต่จะเหมาะกับการใช้งานโดยทั่วไป โดยเฉพาะงานในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรม

อะลูมิเนียม เป็นโลหะมีความนำไฟฟ้าสูงรองจากทองแดง แต่เมื่อเปรียบเทียบในกรณีกระแสเท่ากันแล้วพบว่าอะลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบาและราคาถูกกว่าจึงเหมาะกับงานเดินสายไฟนอกอาคารและระบบสายส่งแรงดันสูง ถ้าทิ้งอะลูมิเนียมไว้ในอากาศจะเกิดออกไซด์ของอะลูมิเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนฟิล์มบางๆ เกาะตามผิวช่วยป้องกันการสึกกร่อน แต่จะมีข้อเสียคือทำให้การเชื่อมต่อทำได้ยาก

ตารางที่ 2.1
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

2.2.2 ฉนวน

ฉนวนทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวนำหรือระหว่างตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดินและเพื่อป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางกลและทางเคมีต่างๆ ในระหว่างที่ตัวนำ นำกระแสไฟฟ้าจะเกิดพลังงานสูญเสียในรูปของความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ความสามารถในการทนต่อความร้อนของฉนวนจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการทนต่อความร้อนของสายไฟฟ้านั่นเอง การเลือกใช้ชนิดของฉนวนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิใช้งาน ระดับแรงดันของระบบและสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนมากที่สุดในขณะนี้คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross Linked Polyethylene (XLPE) ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE

ตารางที่ 2.2

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

จะเห็นว่าฉนวน XLPE มีความแข็งแรง ทนต่อความร้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าฉนวน PVC ปัจจุบันจึงมีการใช้ฉนวน XLPE เพิ่มมากขึ้น

2.2.3 เปลือก

เปลือกทำหน้าที่หุ้มแกนหรือหุ้มสายชั้นนอกสุด อาจจะมี 1 หรือ 2 ชั้นก็ได้ เพื่อป้องกันความเสียหายทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้นในขณะติดตั้งหรือใช้งาน การเลือกใช้ชนิดของเปลือกจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้ทำเป็นเปลือกมากที่สุด คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Polyethylene (PE) ส่วนกรณีสายที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษก็อาจใช้วัสดุ เช่น Flame Retardant Polyvinyl Chloride (FR-PVC) หรือ Low Smoke Halogen Free (LSHF) ก็ได้

2.3 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC

สายไฟฟ้าชนิดนี้จะมีตัวนำเป็นอะลูมิเนียมแบบตีเกลียวไม่อัดแน่นหรือแบบตีเกลียวอัดแน่นและหุ้มด้วยฉนวน PVC สามารถใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 750 V สายไฟฟ้าชนิดนี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.293-2541

สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC สามารถใช้งานในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ เดินภายนอกอาคารเป็นสายประธาน (Main) หรือสายป้อน (Feeder) โดยจะใช้เดินในอากาศเหนือพื้นดิน ทางการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้สายชนิดนี้เป็นสายประธานแรงต่ำ เดินมาจากหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformers) พาดบนลูกถ้วยตามเสาไฟฟ้าหรือใต้ชายคาบ้านหรือตึกแถว เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ สายชนิดนี้มีราคาถูกและรับแรงดึงได้พอควร

750 V 70°C THW-A

Construction

1. Conductor : Stranded hard-drawn aluminium wires
2. Insulation : Black polyvinyl chloride (PVC)

Reference Standard :

TIS 293-2541 Table 1

Classification

Maximum conductor temperature : 70 °C
Maximum circuit voltage : 750 V
AC test voltage : 2,500 V

Application

- For low voltage overhead distribution line

Conductor			Thickness of insulation	Overall diameter	Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 70°C	Breaking strength	Current rating in free air at 40°C ambient	Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. & dia. of wires	Diameter of conductor								
mm^2 (Nominal)	No. /mm	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	N (Min.)	A	kg/km (Approx.)	m
10	7/1.32	3.96	1.1	6.7	3.08	0.0070	1,769	51	56	100/C
16	7/1.68	5.04	1.1	7.8	1.91	0.0057	2,781	69	80	100/C
25	7/2.12	6.36	1.3	9.6	1.20	0.0054	4,241	92	124	100/C
35	7/2.49	7.47	1.3	10.8	0.868	0.0047	5,703	112	155	100/C
50	7/2.90	8.7	1.5	12.5	0.641	0.0047	7,423	136	216	100/C
50	19/1.76	8.8	1.5	12.5	0.641	0.0046	8,114	136	209	100/C
70	19/2.12	10.6	1.5	14.3	0.443	0.0039	11,487	173	284	100/C
95	19/2.49	12.45	1.7	16.6	0.320	0.0038	15,470	225	388	100/C
120	19/2.80	14	1.7	18.2	0.253	0.0034	18,810	262	473	1,000/D
120	37/2.01	14.07	1.7	18.3	0.253	0.0034	20,114	263	468	1,000/D
150	37/2.23	15.61	1.9	20.3	0.206	0.0034	24,704	300	578	1,000/D
185	37/2.50	17.5	2.1	22.6	0.164	0.0034	30,187	347	723	1,000/D
240	61/2.23	20.07	2.3	25.8	0.125	0.0032	38,568	415	930	1,000/D
300	61/2.49	22.41	2.5	28.6	0.100	0.0032	46,901	479	1,151	1,000/D
400	61/2.82	25.38	2.7	32	0.078	0.0030	57,948	562	1,458	500/D
500	61/3.20	28.8	3.1	36.3	0.061	0.0031	73,194	658	1,883	500/D

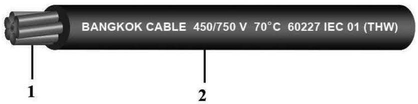
รูปที่ 2.1 สายอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC

2.4 สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC

เนื่องจากทองแดงมีคุณสมบัติข้อดีที่เหนือกว่าอะลูมิเนียมหลายประการด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงกว่าการตัดต่อก็ทำได้ง่ายกว่า จึงนิยมใช้สายไฟฟ้าชนิดนี้กันมาก สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC มีมากมายหลายชนิดแต่ละชนิดก็เหมาะกับงานแต่ละแบบ ทำให้สามารถใช้สายไฟฟ้าชนิดนี้กับงานได้กว้างขวางมากตั้งแต่เป็นสายเชื่อมต่อวงจรเล็กๆ จนกระทั่งเป็นสายประธานหรือสายป้อน ในที่นี้จึงจะขอกล่าวถึงสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 โดยจะกล่าวถึงสายไฟฟ้าที่ใช้งานในการเดินสายถาวรที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไป ดูรายละเอียดต่อได้ในบทที่ 3

450/750 V 70°C 60227 IEC 01 (THW)

SINGLE-CORE NON-SHEATHED CABLE WITH RIGID CONDUCTOR



Construction

1. Conductor : Solid or circular stranded annealed copper
2. Insulation : Polyvinyl chloride (PVC)
   Black, Light Blue, Brown, Grey, Green/Yellow or other colours

Reference Standard :

TIS 11 Part 3-2553

Classification

Maximum conductor temperature : 70°C
Rated voltage : 450/750 V
AC test voltage : 2,500 V

Application

- Use for general purpose
- For installation in raceway and shall be protected water into raceway
- Do not install in duct in ground or direct burial in ground

Products code	Conductor			Thickness of insulation	Overall diameter		Insulation resistance at 70°C	Current rating in free air	Cable weight	Standard length
	Cross-sectional area	No. of wires	Diameter		Lower limit	Upper limit				
	mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm	mm	mm	MΩ.km (Min.)	A	kg/km (Approx.)	m
C6KY013V1012	1.5	1	1.36	0.7	2.6	3.2	0.011	21	21	100/C
C6KY013V4012	1.5	7	1.53	0.7	2.7	3.3	0.010	21	22	100/C
C6KY014V1012	2.5	1	1.75	0.8	3.2	3.9	0.010	29	33	100/C
C6KY014V4012	2.5	7	1.98	0.8	3.3	4.0	0.009	29	34	100/C
C6KY015V1012	4	1	2.21	0.8	3.6	4.4	0.0085	37	48	100/C
C6KY015V2012	4	7	2.49	0.8	3.8	4.6	0.0077	37	50	100/C
C6KY016V1012	6	1	2.70	0.8	4.1	5.0	0.0070	48	68	100/C
C6KY016V2012	6	7	3.09	0.8	4.3	5.2	0.0065	48	72	100/C
C6KY017V1012	10	1	3.50	1.0	5.3	6.4	0.0070	67	110	100/C
C6KY017V2012	10	7	3.99	1.0	5.6	6.7	0.0065	67	120	100/C
C6KY018V2012	16	7	5.01	1.0	6.4	7.8	0.0050	92	180	100/C
C6KY019V2012	25	7	6.30	1.2	8.1	9.7	0.0050	127	280	100/C
C6KY010W2012	35	7	7.55	1.2	9.0	10.9	0.0043	157	380	100/C
C6KY011W2011	50	19	8.75	1.4	10.6	12.8	0.0043	191	510	500/D
C6KY012W2011	70	19	10.50	1.4	12.1	14.6	0.0035	244	720	500/D
C6KY013W2011	95	19	12.35	1.6	14.1	17.1	0.0035	297	990	500/D
C6KY014W2011	120	37	13.93	1.6	15.6	18.8	0.0032	345	1,220	500/D
C6KY015W2011	150	37	15.47	1.8	17.3	20.9	0.0032	397	1,510	500/D
C6KY016W2011	185	37	17.29	2.0	19.3	23.3	0.0032	453	1,880	500/D
C6KY017W2011	240	37	19.89	2.2	22.0	26.6	0.0032	535	2,470	500/D
C6KY018W2011	300	61	22.23	2.4	24.5	29.6	0.0030	617	3,080	500/D
C6KY019W2011	400	61	25.20	2.6	27.5	33.2	0.0028	741	3,930	300/D

รูปที่ 2.2 สายทองแดงหุ้มฉนวน PVC

2.5 สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE

สายไฟฟ้าชนิดนี้ ทำตามมาตรฐาน มอก.2143-2546 (IEC 60502-1) มีฉนวน และเปลือก แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 0.6 / 1 kV มีจำนวนแกน 1 - 4 แกน บางมาตรฐานเรียกว่าสาย CV เนื่องจากฉนวน XLPE สามารถทนความร้อนได้ 90 °C จึงนำกระแสได้สูงกว่าสายหุ้มฉนวน PVC มักนิยมใช้เป็นสาย Feeder และสาย Main

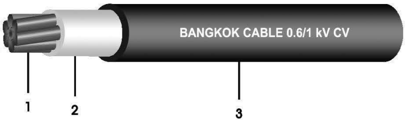
การใช้งาน

- ใช้งานทั่วไป
- ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- เดินบน Cable Trays
- การติดตั้งในอาคารต้องเดินในที่ปิดมิดชิด

ยกเว้นเปลือกนอกของสายมีคุณสมบัติต้านทานการลุกไหม้ (Flame retardant) IEC 60332 - 3 ต้องคำนึงถึงพิกัดกระแสและอุณหภูมิของอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้ประกอบร่วมกับสายให้มีความสัมพันธ์กันด้วย

0.6/1 kV CV (FR-CV optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE



Construction

1. Conductor : Circular stranded or circular compacted stranded annealed copper
2. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE), Natural colour
3. Sheath : Polyvinyl chloride (PVC), Black colour, (Optional : FR-PVC)*

Reference Standard :

IEC 60502-1

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 1,000 V

AC test voltage : 3,500 V

Application

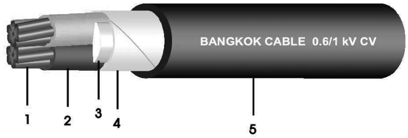
For general purpose power distribution in dry or wet location, installation exposed in conduit or duct or direct burial in ground.

Conductor			Thickness of insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter						in free air at 40°C ambient	direct burial in ground at 30°C		
mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	A	A	kg/km (Approx.)	m/drum
1.5	7	1.53	0.7	1.4	6.50	12.1	2,550	27	33	50	500
2.5	7	1.98	0.7	1.4	7.00	7.41	2,100	38	43	60	500
4	7	2.49	0.7	1.4	7.50	4.61	1,700	51	56	80	500
6	7	3.09	0.7	1.4	8.00	3.08	1,450	66	71	110	500
10	6	3.72	0.7	1.4	9.00	1.83	1,250	92	94	150	500
16	6	4.69	0.7	1.4	9.50	1.15	1,000	124	120	210	500
25	6	5.90	0.9	1.4	11.50	0.727	1,050	166	155	310	500
35	6	6.95	0.9	1.4	12.50	0.524	900	206	185	410	500
50	6	8.33	1.0	1.4	14.00	0.387	850	259	225	550	500
70	12	9.73	1.1	1.4	15.50	0.268	800	321	275	750	500
95	15	11.43	1.1	1.5	17.50	0.193	700	391	330	1,020	500
120	18	12.95	1.2	1.5	19.50	0.153	650	455	375	1,270	500
150	18	14.27	1.4	1.6	21.50	0.124	700	525	425	1,560	500
185	30	15.98	1.6	1.6	23.50	0.0991	700	602	480	1,940	500
240	34	18.47	1.7	1.7	26.50	0.0754	650	711	560	2,520	500
300	34	20.68	1.8	1.8	29.00	0.0601	600	821	635	3,130	500
400	53	23.39	2.0	1.9	32.50	0.0470	600	988	725	3,980	500
500	53	26.67	2.2	2.0	36.50	0.0366	600	1,140	830	5,080	500
630	53	30.22	2.4	2.2	41.00	0.0283	550	1,323	945	6,540	400
800	53	34.00	2.6	2.3	45.50	0.0221	550	1,543	1,060	8,310	400

รูปที่ 2.3 สาย XLPE 1 แกน

0.6/1 kV CV (FR-CV optional)*

2 CORES - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE



Construction

1. Conductor : Circular stranded or circular compacted stranded annealed copper
2. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE)
   Colour code : Light Blue, Brown
3. Filler : Polypropylene (Non-hygroscopic material)
4. Binding tape : Polyester tape and/or Spunbond tape
5. Sheath : Polyvinyl chloride (PVC), Black colour, (Optional : FR-PVC)*

Reference Standard :

IEC 60502-1

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 1,000 V

AC test voltage : 3,500 V

Application

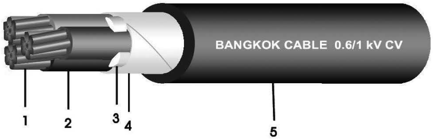
For general purpose power distribution in dry or wet location, installation exposed in conduit or duct or direct burial in ground.

Conductor			Thickness of insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter						in free air at 40°C ambient	direct burial in ground at 30°C		
mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	A	A	kg/km (Approx.)	m/drum
1.5	7	1.53	0.7	1.8	11.0	12.1	2,550	24	33	120	500
2.5	7	1.98	0.7	1.8	11.5	7.41	2,100	33	44	160	500
4	7	2.49	0.7	1.8	12.5	4.61	1,700	44	58	200	500
6	7	3.09	0.7	1.8	14.0	3.08	1,450	57	73	260	500
10	6	3.72	0.7	1.8	15.0	1.83	1,250	78	97	360	500
16	6	4.69	0.7	1.8	17.0	1.15	1,000	105	125	510	500
25	6	5.90	0.9	1.8	20.5	0.727	1,050	135	165	760	500
35	6	6.95	0.9	1.8	22.5	0.524	900	168	195	1,000	500
50	6	8.33	1.0	1.8	26.0	0.387	850	212	235	1,330	500
70	12	9.73	1.1	1.8	29.5	0.268	800	263	290	1,820	500
95	15	11.43	1.1	1.9	33.0	0.193	700	321	350	2440	500
120	18	12.95	1.2	2.0	36.5	0.153	650	373	400	3,060	500
150	18	14.27	1.4	2.1	40.5	0.124	700	431	450	3,750	500
185	30	15.98	1.6	2.3	45.0	0.0991	700	493	505	4,700	400
240	34	18.47	1.7	2.5	51.0	0.0754	650	584	585	6,110	300
300	34	20.68	1.8	2.6	56.0	0.0601	600	674	665	7,550	250
400	53	23.39	2.0	2.9	63.5	0.0470	600	812	750	9,630	200

รูปที่ 2.4 สาย XLPE 2 แกน

0.6/1 kV CV (FR-CV optional)*

3 CORES - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE



Construction

1. Conductor : Circular stranded or circular compacted stranded annealed copper
2. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE)
   Colour code : Brown, Black, Grey
3. Filler : Polypropylene (Non-hygroscopic material)
4. Binding tape : Polyester tape and/or Spunbond tape
5. Sheath : Polyvinyl chloride (PVC), Black colour, (Optional : FR-PVC)*

Reference Standard :

IEC 60502-1

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 1,000 V

AC test voltage : 3,500 V

Application

For general purpose power distribution in dry or wet location, installation exposed in conduit or duct or direct burial in ground.

Conductor			Thickness of insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter						in free air at 40°C ambient	direct burial in ground at 30°C		
mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	A	A	kg/km (Approx.)	m/drum
1.5	7	1.53	0.7	1.8	11.5	12.1	2,550	21	28	140	500
2.5	7	1.98	0.7	1.8	12.0	7.41	2,100	29	37	190	500
4	7	2.49	0.7	1.8	13.5	4.61	1,700	38	49	250	500
6	7	3.09	0.7	1.8	14.5	3.08	1,450	49	61	330	500
10	6	3.72	0.7	1.8	16.0	1.83	1,250	68	82	470	500
16	6	4.69	0.7	1.8	18.0	1.15	1,000	91	105	670	500
25	6	5.90	0.9	1.8	21.5	0.727	1,050	116	135	1,020	500
35	6	6.95	0.9	1.8	24.0	0.524	900	144	165	1,350	500
50	6	8.33	1.0	1.8	27.5	0.387	850	180	200	1,800	500
70	12	9.73	1.1	1.9	31.5	0.268	800	224	245	2,500	500
95	15	11.43	1.1	2.0	35.5	0.193	700	271	295	3,370	500
120	18	12.95	1.2	2.1	39.5	0.153	650	315	335	4,220	500
150	18	14.27	1.4	2.2	43.5	0.124	700	363	380	5,190	400
185	30	15.98	1.6	2.4	48.5	0.0991	700	415	425	6,490	400
240	34	18.47	1.7	2.6	55.0	0.0754	650	490	495	8,440	300
300	34	20.68	1.8	2.7	60.5	0.0601	600	565	560	10,470	250
400	53	23.39	2.0	3.0	68.0	0.0470	600	678	630	13,350	200

รูปที่ 2.5 สาย XLPE 3 แกน

0.6/1 kV CV (FR-CV optional)*

4 CORES - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE

Construction

1. Conductor : Circular stranded or circular compacted stranded annealed copper
2. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE)
   Colour code : Ligth Blue, Brown, Black, Grey
3. Filler : Polypropylene (Non-hygroscopic material)
4. Binding tape : Polyester tape and/or Spunbond tape
5. Sheath : Polyvinyl chloride (PVC), Black colour, (Optional : FR-PVC)*

Reference Standard :

IEC 60502-1

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 1,000 V

AC test voltage : 3,500 V

Application

For general purpose power distribution in dry or wet location, installation exposed in conduit or duct or direct burial in ground.

Conductor			Thickness of insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area mm^2	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A	kg/km (Approx.)	m/drum
1.5	7	1.53	0.7	1.8	12	12.1	2,550	21	28	170	500
2.5	7	1.98	0.7	1.8	13	7.41	2,100	29	37	230	500
4	7	2.49	0.7	1.8	15	4.61	1,700	38	49	300	500
6	7	3.09	0.7	1.8	16	3.08	1,450	49	61	410	500
10	6	3.72	0.7	1.8	18	1.83	1,250	68	82	590	500
16	6	4.69	0.7	1.8	20	1.15	1,000	91	105	860	500
25	6	5.90	0.9	1.8	24	0.727	1,050	116	135	1,300	500
35	6	6.95	0.9	1.8	27	0.524	900	144	165	1,740	500
50	6	8.33	1.0	1.8	31	0.387	850	180	200	2,320	500
70	12	9.73	1.1	2.0	35	0.268	800	224	245	3,250	500
95	15	11.43	1.1	2.1	39	0.193	700	271	295	4,390	500
120	18	12.95	1.2	2.3	44	0.153	650	315	335	5,520	400
150	18	14.27	1.4	2.4	49	0.124	700	363	380	6,780	400
185	30	15.98	1.6	2.6	54	0.0991	700	415	425	8,480	300
240	34	18.47	1.7	2.8	61	0.0754	650	490	495	11,040	200
300	34	20.68	1.8	3.0	68	0.0601	600	565	560	13,720	150
400	53	23.39	2.0	3.3	76	0.0470	600	678	630	17,490	150

รูปที่ 2.6 สาย XLPE 4 แกน

บทที่ 3

สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ตาม มอก.11-2553

3.1 บทนำ

สายไฟฟ้าถือเป็นวัสดุที่สำคัญมากในระบบไฟฟ้าและระบบที่ใช้ไฟฟ้าในการทำงาน มาตรฐานสายไฟมีมานานตาม มอก.11-2518 เช่น สาย TW 60 °C, สาย THW 75 °C จึงได้เปลี่ยนเป็น มอก.11-2531 มีทั้งหมด 17 ตารางและต่อมาได้ปรับปรุงเป็นมาตรฐานสายไฟฟ้าใหม่ คือ มอก.11-2553 เนื่องจากขณะนี้ประเทศไทยได้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC มากขึ้น ดังนั้นทางกระทรวงอุตสาหกรรมได้ปรับปรุงมาตรฐานสายไฟฟ้าใหม่ให้เป็นตามมาตรฐาน IEC 60227 มาตรฐานใหม่นี้ มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 31 กรกฎาคม 2556

3.2 มอก.11-2553

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450 / 750 โวลต์

มี 6 เล่มด้วยกัน

เล่ม 1 ข้อกำหนดทั่วไป

เล่ม 2 วิธีทดสอบ

เล่ม 3 สายไฟฟ้าไม่มีเปลือก สำหรับงานติดตั้งยึดกับที่

เล่ม 4 สายไฟฟ้ามีเปลือก สำหรับงานติดตั้งยึดกับที่

เล่ม 5 สายอ่อน

เล่ม 101 สายไฟฟ้ามีเปลือก สำหรับงานทั่วไป

3.3 เล่มที่1 ข้อกำหนดทั่วไป

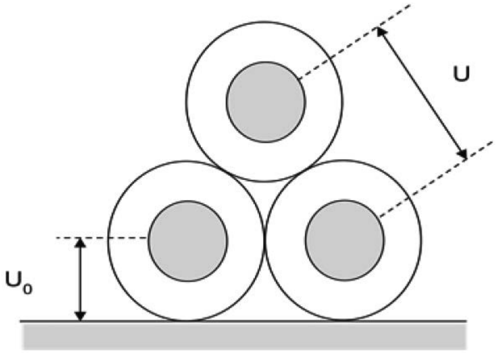
3.3.1 แรงดันไฟฟ้า

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/ 750 โวลต์

กำหนดให้ เป็น U_o / U

U_o = แรงดัน RMS ระหว่าง ตัวนำ กับ ดิน

U = แรงดัน RMS ระหว่าง ตัวนำ กับ ตัวนำ



Ground Earth

ตัวอย่างแรงดัน

แรงดัน 450 / 750 V

450 x √3 = 779 V

= 750 V

แรงดัน 300 / 500 V

300 x √3 = 520 V

= 500 V

3.3.2 สีฉนวน

สายแกนเดียว	ไม่กำหนด
สาย 2 แกน	สีฟ้าและสีน้ำตาล
สาย 3 แกน	สีเขียวแถบเหลือง, สีฟ้า, สีน้ำตาล หรือ สีน้ำตาล, สีดำ, สีเทา
สาย 4 แกน	สีเขียวแถบเหลือง, สีน้ำตาล, สีดำ, สีเทา หรือ สีฟ้า, สีน้ำตาล, สีดำ, สีเทา
สาย 5 แกน	สีเขียวแถบเหลือง, สีฟ้า, สีน้ำตาล, สีดำ, สีเทา หรือ สีฟ้า, สีน้ำตาล, สีดำ, สีเทา, สีดำ

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

สาย สีเขียวแถบเหลือง	สายดิน
สาย สีฟ้า	สาย Neutral
สาย สีน้ำตาล	สายเฟส 1 (A)
สาย สีดำ	สายเฟส 2 (B)
สาย สีเทา	สายเฟส 3 (C)

3.3.3 การกำหนดรหัส

3.3.3.1 การกำหนดรหัส ชนิดของสายไฟฟ้าใช้หมายเลข 2 ตัว

หมายเลข แรก เป็นการระบุขั้นพื้นฐานของสายไฟฟ้า

หมายเลข สอง เป็นการระบุแบบเฉพาะชั้นและแบบของสายไฟฟ้า

3.3.3.2 ชั้นและแบบของสายไฟฟ้าเป็นดังนี้

0 สายไฟฟ้าไม่มีเปลือกนอก สำหรับงานติดตั้งยึดกับที่

01 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายแข็ง สำหรับงานทั่วไป (60227 IEC 01)

02 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายอ่อน (Flexible Conductor) สำหรับงานทั่วไป (60227 IEC 02)

05 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำเส้นเดี่ยว สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน ที่อุณหภูมิของตัวนำ 70 องศาเซลเซียส (60227 IEC 05)

06 สายไฟฟ้าเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายอ่อน สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน ที่อุณหภูมิของตัวนำ 70 องศาเซลเซียส (60227 IEC 06)

07 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำเส้นเดี่ยว สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน ที่อุณหภูมิของตัวนำ 90 องศาเซลเซียส (60227 IEC 07)

08 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายอ่อน สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน ที่อุณหภูมิของตัวนำ 90 องศาเซลเซียส (60227 IEC 08)

1 สายไฟฟ้ามีเปลือกสำหรับงานติดตั้งยึดกับที่

10 สายไฟฟ้ามีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์เบา (60227 IEC 10)

4 สายไฟฟ้าอ่อน (Flexible cable) ไม่มีเปลือกสำหรับการใช้งานเบา

41 สายอ่อนทินเซลแบน (60227 IEC 41)

43 สายอ่อนสำหรับไฟฟ้าประดับตกแต่งภายใน (60227 IEC 43)

5 สายไฟฟ้าอ่อน (Flexible cable) มีเปลือกสำหรับการใช้งานปกติ

52 สายอ่อนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์เบา (60227 IEC 52)

53 สายอ่อนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์ธรรมดา (60227 IEC 53)

7 สายไฟฟ้าอ่อน (Flexible cable) มีเปลือกสำหรับการใช้งานพิเศษ

71c สายลิฟต์กลมมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์ และสายสำหรับการเชื่อมต่อแบบอ่อนตัวได้ (60227 IEC 71c)

71f สายลิฟต์แบนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์ และสายสำหรับการเชื่อมต่อแบบอ่อนตัวได้ (60227 IEC 71f)

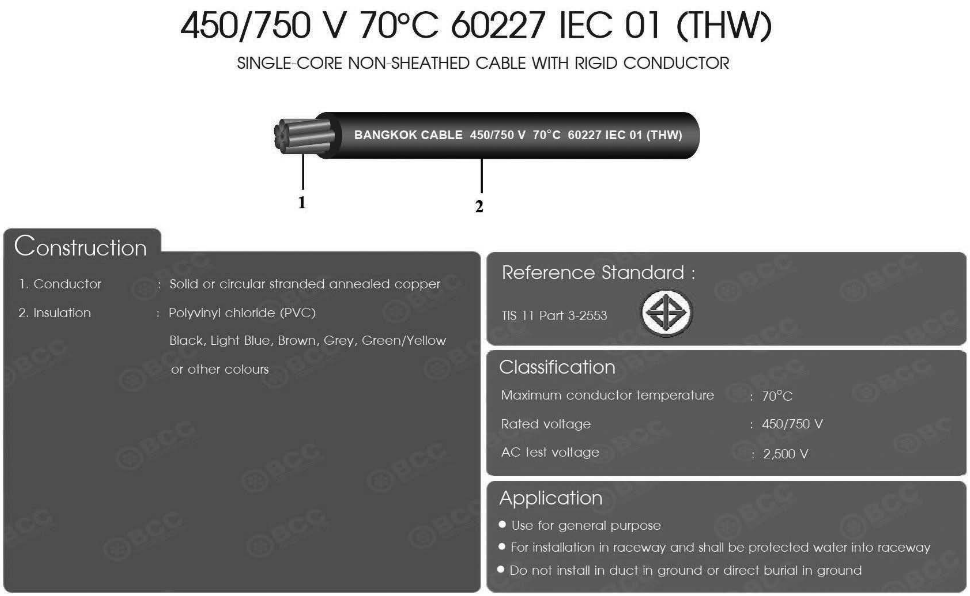
3.4 สายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 ที่นิยมใช้งาน

3.4.1 60227 IEC 01

60227 IEC 01 คือ สายไฟฟ้าแกนเดี่ยว ไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายแข็งสำหรับงานทั่วไป รหัส 60227 IEC 01 แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 450 / 750 V คล้ายสายไฟฟ้า ตารางที่ 4 มอก.11-2531 หรือเรียกทั่วไปว่า สาย THW มีขนาด 1.5 mm^2 ถึง 400 mm^2

การใช้งาน

- ใช้งานทั่วไป
- เดินในช่องเดินสาย และต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- ห้ามเดินบน Cable Trays



รูปที่ 3.1 สาย 60227 IEC 01 (THW)

3.4.2 สาย VAF

สาย VAF คือ สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนและเปลือกมี 2 แบบ คือ สายแบน 2 แกน ไม่มีสายดิน และ 2 แกน มีสายดิน

รหัสชนิดกรณีไม่มีสายดิน VAF

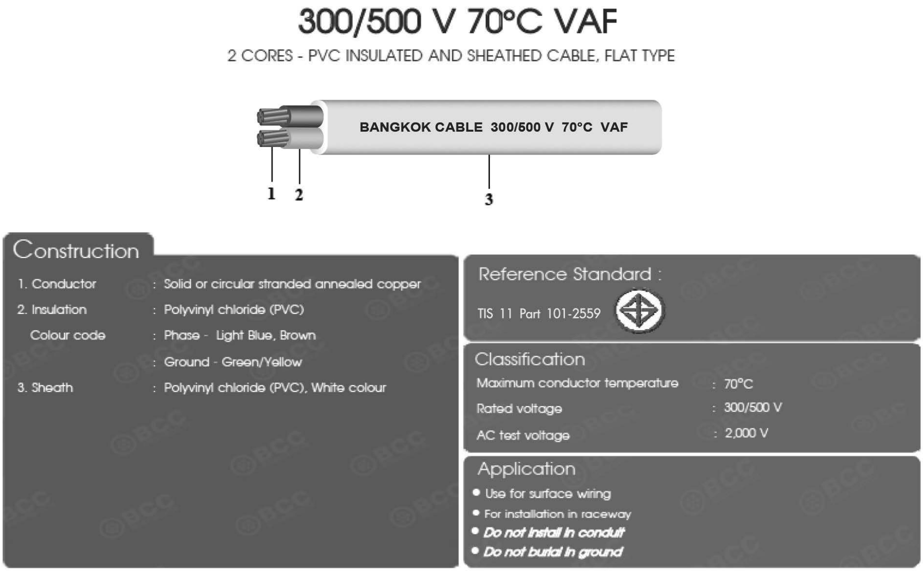
กรณีมีสายดิน VAF- G หรือ VAF / G

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 300 / 500 V

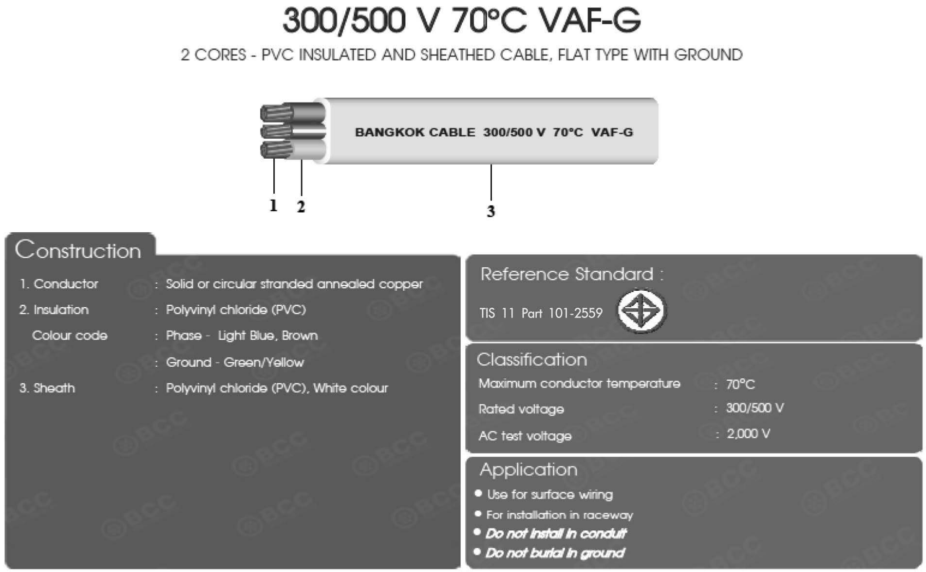
มีขนาด 1 mm^2 ถึง 16 mm^2

การใช้งาน

- ใช้เดินเกาะผนัง
- เดินในช่องเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อ
- ห้ามฝังดิน



รูปที่ 3.2 สาย VAF



รูปที่ 3.3 สาย VAF-G

3.4.3 สาย NYY

สาย NYY คือ สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน มีเปลือกในและเปลือกนอก

รหัสชนิด	กรณีไม่มีสายดิน	NYY
	กรณีมีสายดิน	NYY - G หรือ NYY / G
แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด		450 / 750 V
NYY แกนเดี่ยว		มีขนาด 1 mm^2 - 500 mm^2
NYY หลายแกน		มีขนาด 1 mm^2 - 300 mm^2
NYY หลายแกนมีสายดิน		มีขนาด 1 mm^2 - 300 mm^2

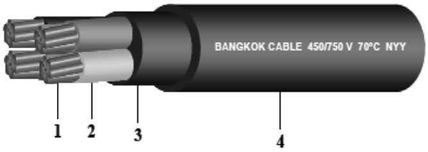
การใช้งาน

- ใช้งานทั่วไป
- ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- เดินบน Cable Trays

รูปที่ 3.4 สาย NYY แกนเดี่ยว

450/750 V 70°C NYY

4 CORES - PVC INSULATED AND DOUBLE SHEATHED CABLE, ROUND TYPE



Construction

1. Conductor	: Circularc stranded annealed copper
2. Insulation	: Polyvinyl chloride (PVC)
Colour code	: Light Blue, Brown, Black, Grey
3. Inner sheath	: Polyvinyl chloride (PVC), Black colour
4. Outer sheath	: Polyvinyl chloride (PVC), Black colour

Reference Standard :

TIS 11 Part 101-2559

Classification

Maximum conductor temperature	: 70°C
Rated voltage	: 450/750 V
AC test voltage	: 2,500 V

Application

- Use for general purpose
- laid on cable trays/Cable ladder
- Install in duct in ground or direct burial in ground

รูปที่ 3.5 สาย NYY หลายแกน

รูปที่ 3.6 สาย NYY หลายแกนมีสายดิน

3.4.4 สาย VCT

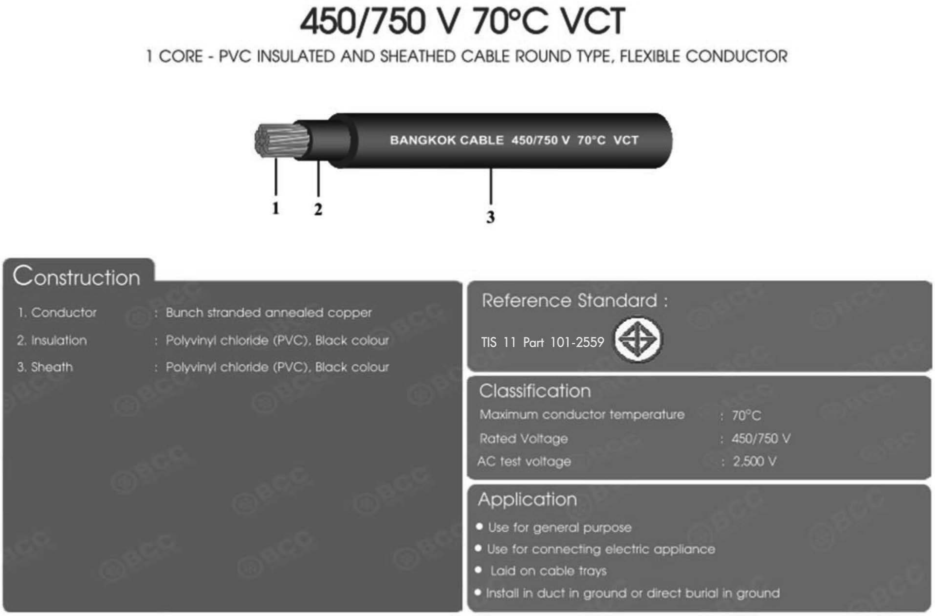
สาย VCT คือ สายไฟฟ้าแบบอ่อน หุ้มฉนวน มีเปลือก

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 450 / 750 V

มีขนาด 1 mm^2 ถึง 35 mm^2

การใช้งาน

- ใช้งานทั่วไป
- ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า
- ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- เดินบน Cable Trays

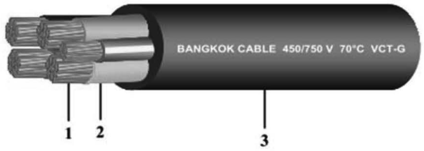


รูปที่ 3.7 สาย VCT แกนเดี่ยว

รูปที่ 3.8 สาย VCT หลายแกน

450/750 V 70°C VCT-G

4 CORES - PVC INSULATED AND SHEATHED CABLE, ROUND TYPE FLEXIBLE CONDUCTOR WITH GROUND



Construction

1. Conductor : Bunch stranded annealed copper
2. Insulation : Polyvinyl chloride (PVC)
   Colour code : Phase - Light Blue, Brown, Black, Grey
   Ground - Green/Yellow
3. Sheath : Polyvinyl chloride (PVC), Black colour

Reference Standard :

TIS 11 Part 101-2559

Classification

Maximum conductor temperature	: 70°C
Rated Voltage	: 450/750 V
AC test voltage	: 2,500 V

Application

- Use for general purpose
- Use for connecting electric appliance
- Laid on cable trays
- Install in duct in ground or direct burial in ground

รูปที่ 3.9 สาย VCT หลายแกนมีสายดิน

3.4.5 สายรหัส 60227 IEC 10

สาย 60227 IEC 10 คือ สายไฟฟ้าหลายแกน มีเปลือก ชนิดตัวนำสายแข็งสำหรับงานทั่วไป แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 300 / 500 V โครงสร้างคล้ายสาย NYY แต่ฉนวน และเปลือกบางกว่า เหมาะสำหรับใช้งานเบา มีขนาด 1.5 mm^2 ถึง 35 mm^2

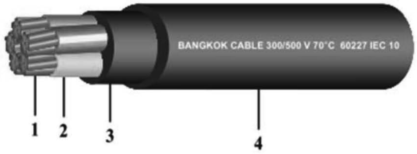
การใช้งาน

- ใช้งานทั่วไป
- เดินในช่องเดินสาย และต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- วางบน Cable Trays

รูปที่ 3.10 สาย 60227 IEC 10

300/500 V 70°C 60227 IEC 10

4 CORES - LIGHT POLYVINYL CHLORIDE SHEATHED CABLE WITH GROUND



Construction

1. Conductor	:	Solid or circular stranded annealed copper
2. Insulation	:	Polyvinyl chloride (PVC)
Colour code	:	Phase - Light Blue, Brown, Black, Grey
		Ground - Green/Yellow
3. Inner covering	:	Polyvinyl chloride (PVC), Black colour
4. Outer sheath	:	Polyvinyl chloride (PVC), Black colour

Reference Standard :

TIS 11 Part 4-2553

Classification

Maximum conductor temperature	:	70°C
Rated Voltage	:	300/500 V
AC test voltage	:	2,000 V

Application

- Use for general purpose
- For installation in raceway and shall be protected water into raceway
- Laid on cable trays/Cable ladder
- ***Do not install in duct in ground or direct burial in ground***

รูปที่ 3.11 สาย 60227 IEC 10 มีสายดิน

บทที่
4 สายไฟฟ้าแรงดันสูง

4.1 บทนำ

สายไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นสายที่ใช้กับระดับแรงดันตั้งแต่ 1 kV ขึ้นไป โดยแรงดันตั้งแต่ 1 kV - 36 kV เรียกว่าแรงดันปานกลาง (Medium voltage) แรงดันตั้งแต่ 36 kV ขึ้นไปเรียกว่าแรงดันสูง (High voltage) เป็นสายที่มีขนาดใหญ่ ในลักษณะตัวนำตีเกลียว

สายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

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

4.2 สายเปลือย (Bare Wires)

สายเปลือย คือ สายที่ไม่มีเปลือกหรือฉนวนหุ้มสาย ถ้าหากนำไปใช้กับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำจะไม่ปลอดภัย จึงใช้สายชนิดนี้กับงานแรงดันสูง สายเปลือยที่นิยมใช้ในงานแรงดันสูงมักจะทำมาจากอะลูมิเนียม เพราะมีน้ำหนักเบาและราคาถูก แต่สายอะลูมิเนียมล้วนจะสามารถรับแรงดึงได้ต่ำ จึงมีการพัฒนาเพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น โดยการเสริมแกนเหล็กหรือใช้โลหะอื่นผสม สายเปลือยที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

- สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC)
- สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR)

4.2.1 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC - All Aluminium Conductor)

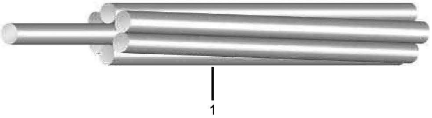
เป็นตัวนำอะลูมิเนียมตีเกลียวเป็นชั้นๆสายชนิดนี้รับแรงดึงได้ต่ำ จึงไม่สามารถขึงสายให้มีระยะห่างช่วงเสา (Span) มากๆ ได้ โดยปกติความยาวช่วงเสาต้องไม่เกิน 50 m ยกเว้นสายที่มีขนาด 95 mm^2 ขึ้นไปนั้น สามารถที่จะมีระยะห่างช่วงเสาได้ไม่เกิน 100 m มาตรฐานสำหรับสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย คือ มอก.85-2548, IEC 61089 : 1991 (Aluminium stranded conductors) สาย AAC มีลักษณะดังรูปที่ 4.1

4.2.2 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR - Aluminium Conductor Steel Reinforced)

เป็นสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียว และมีแกนเหล็กอยู่ตรงกลาง เพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น ทำให้สามารถขยายระยะห่างช่วงเสาได้มากขึ้น แต่จะไม่ใช้สายชนิดนี้ในบริเวณชายทะเล เพราะว่าจะเกิดการกัดกร่อนจากไอของเกลือ ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง มาตรฐานสำหรับสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก คือ มอก.85-2548, IEC 61089 : 1991 (Aluminium conductors, steel - reinforced) สาย ACSR มีลักษณะดังรูปที่ 4.2

AAC

ALL ALUMINIUM STRANDED CONDUCTOR



Construction

1. Conductor : Stranded hard-drawn aluminium wires

Reference Standard :

TIS 85 - 2548

(Reference to TIS 85 - 2522)

Application

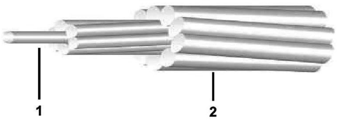
- For aerial power transmission and distribution line.

Cross - sectional area mm^2 (Nominal)	Cross - sectional area mm^2 (Actual)	Number of wires	Diameter of wire mm (Nominal)	Overall diameter mm (Approx.)	Conductor resistance at 20°C Ω/km (Max.)	Rated tensile strength kN (Min.)	Current rating in free air at 40°C ambient A	Conductor weight kg/km (Approx.)	Standard length m/drum
16	15.89	7	1.70	5.10	1.8022	2.844	110	44	4,000
25	25.18	7	2.14	6.42	1.1373	4.315	145	69	4,000
35	34.91	7	2.52	7.56	0.8202	5.737	180	96	3,000
50	50.14	7	3.02	9.06	0.5711	7.894	225	137	3,000
50	49.97	19	1.83	9.15	0.5758	8.727	225	137	3,000
70	68.98	19	2.15	10.75	0.4171	11.816	270	190	2,500
95	94.76	19	2.52	12.60	0.3036	15.543	340	261	2,500
120	121.21	19	2.85	14.25	0.2374	19.416	390	333	2,500
150	147.12	37	2.25	15.75	0.1960	25.201	455	406	2,500
185	184.54	37	2.52	17.64	0.1563	30.252	550	509	2,500
240	242.54	61	2.25	20.25	0.1191	39.371	625	670	1,500
300	304.24	61	2.52	22.68	0.0949	47.265	710	840	1,500
400	389.14	61	2.85	25.65	0.0742	59.081	855	1,075	1,000
500	506.04	61	3.25	29.25	0.0571	78.105	990	1,398	1,000
625	626.2	91	2.96	32.56	0.0462	95.060	1,140	1,735	1,000
800	802.08	91	3.35	36.85	0.0360	118.211	1,340	2,222	500
1000	999.71	91	3.74	41.14	0.0289	145.570	1,540	2,769	500

รูปที่ 4.1 สาย AAC

ACSR

ALUMINIUM CONDUCTOR, STEEL-REINFORCED



Construction

1. Steel Core : Solid or stranded regular strength galvanized steel wires
2. Conductor : Stranded hard-drawn aluminium wires

Reference Standard :

TIS 85 - 2548

(Reference to TIS 86 - 2522)

Application

For aerial power transmission and distribution line.

Cross sectional area (Al/St)	Cross-sectional area			Number of wires		Diameter of wire		Diameter		Conductor resistance at 20°C	Rated Tensile Strength	Current rating in free air at 40°C ambient	Conductor weight	Standard length
	Al	Steel	Total	Al	Steel	Al	Steel	Steel Core	Conductor					
mm^2 (Nominal)	mm^2 (Approx.)	mm^2 (Approx.)	mm^2 (Approx.)			mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	Ω/km (Max.)	kN (Min.)	A	kg/km (Approx.)	m/drum
16/2.5	15.3	2.6	17.9	6	1	1.80	1.80	1.80	5.40	1.8786	5.805	90	62	4,000
25/4	23.8	4.0	27.8	6	1	2.25	2.25	2.25	6.75	1.2023	8.982	125	97	4,000
35/6	34.3	5.7	40.0	6	1	2.70	2.70	2.70	8.10	0.8349	12.405	145	139	3,000
50/8	48.3	8.0	56.3	6	1	3.20	3.20	3.20	9.60	0.5944	16.827	170	195	3,000
50/30	51.2	29.8	81.0	12	7	2.33	2.33	6.99	11.65	0.5642	42.95	170	375	2,000
70/12	69.9	11.4	81.3	26	7	1.85	1.44	4.32	11.70	0.413	26.241	290	282	2,000
95/15	94.4	15.3	109.7	26	7	2.15	1.67	5.01	13.60	0.3058	34.958	350	381	2,000
95/55	96.5	56.3	152.8	12	7	3.20	3.20	9.60	16.00	0.2991	78.105	350	708	2,000
120/20	121.6	19.8	141.4	26	7	2.44	1.90	5.70	15.50	0.2374	44.666	410	491	2,000
120/70	122	71.3	193.3	12	7	3.60	3.60	10.80	18.00	0.2363	98.393	410	896	2,000
125/30	127.9	29.8	157.7	30	7	2.33	2.33	6.99	16.31	0.2258	56.473	425	587	2,000
150/25	148.9	24.2	173.1	26	7	2.70	2.10	6.30	17.10	0.1939	54.06	470	601	1,500
170/40	171.8	40.1	211.9	30	7	2.70	2.70	8.10	18.90	0.1682	75.261	520	789	1,500
185/30	183.8	29.8	213.6	26	7	3.00	2.33	6.99	19.00	0.1571	64.896	535	741	1,500
210/35	209.1	34.1	243.2	26	7	3.20	2.49	7.47	20.30	0.138	73.437	590	844	1,500
210/50	212.1	49.5	261.6	30	7	3.00	3.00	9.00	21.00	0.1362	92.078	610	974	1,000
230/30	230.9	29.8	260.7	24	7	3.50	2.33	6.99	21.00	0.1249	71.711	630	871	1,000
240/40	243	39.5	282.5	26	7	3.45	2.68	8.04	21.90	0.1188	84.724	645	981	1,000
265/35	263.7	34.1	297.8	24	7	3.74	2.49	7.47	22.40	0.1094	81.458	680	995	1,000
300/50	304.3	49.5	353.8	26	7	3.86	3.00	9.00	24.50	0.0949	104.944	740	1,228	1,000
305/40	304.6	39.5	344.1	54	7	2.68	2.68	8.04	24.10	0.0949	97.491	740	1,152	1,000
380/50	382	49.5	431.5	54	7	3.00	3.00	9.00	27.00	0.0756	120.731	840	1,443	1,000
435/55	434.3	56.3	490.6	54	7	3.20	3.20	9.60	28.80	0.0666	134.077	900	1,642	1,000
490/65	490.3	63.6	553.9	54	7	3.40	3.40	10.20	30.60	0.059	150.453	960	1,853	1,000
550/70	550	71.3	621.3	54	7	3.60	3.60	10.80	32.40	0.0526	167.643	1,020	2,078	1,000
680/85	678.8	86.0	764.8	54	19	4.00	2.40	12.00	36.00	0.0426	206.318	1,150	2,552	500

รูปที่ 4.2 สาย ACSR

4.3 สายหุ้มฉนวนแรงสูง (Insulated cable)

สายหุ้มฉนวนแรงสูงมี 2 แบบคือ

1. สายหุ้มฉนวนแรงสูงไม่เต็มพิกัด (Partial Insulated Cable)
2. สายหุ้มฉนวนแรงสูงเต็มพิกัด (Fully Insulated Cable)

4.4 สายหุ้มฉนวนแรงสูงไม่เต็มพิกัด

สายแบบนี้ไม่มี Metallic Insulated Screen จึงไม่ควรแตะต้อง การติดตั้งต้องตั้งอยู่บนลูกถ้วย หรือ Spacer จะติดตั้งติดกับผนังหรือบนพื้นผิวโลหะที่ต่อลงดินไม่ได้

1. สาย Partial Insulated Cable (PIC)

การใช้สายเปลือยจะมีโอกาสเกิดลัดวงจรขึ้นได้ง่าย เพื่อลดปัญหานี้จึงได้มีการนำสาย PIC มาใช้แทนสายเปลือย โดยโครงสร้างของสาย PIC จะประกอบด้วย ตัวนำอะลูมิเนียมตีเกลียวหุ้มด้วยฉนวน XLPE 1 ชั้น

2. สาย Space Aerial Cable (SAC)

สาย SAC โครงสร้างเป็นตัวนำอะลูมิเนียมตีเกลียว มีฉนวน XLPE หุ้มเช่นเดียวกับสาย PIC แต่จะมีเปลือก (Sheath) ที่ทำจาก XLPE หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ทำให้มีความทนทานมากกว่าสาย PIC สาย SAC มีลักษณะดังรูปที่ 4.3

แม้ว่าสายชนิดนี้จะมีเปลือก (Sheath) หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง แต่ก็ไม่ควรสัมผัสสายโดยตรง เพราะจะเป็นอันตรายได้ ในการใช้งานสายชนิดนี้ จะต้องใช้ Spacer เพื่อจำกัดระยะห่างระหว่างสาย นอกจากนี้จะต้องใช้ Messenger Wire ช่วยดึงสายไว้ โดย Messenger Wire จะต่อลงดินทำหน้าที่เป็นสาย Overhead Ground Wire

ในขณะนี้ทางการไฟฟ้า กำลังดำเนินการเปลี่ยนการใช้สาย PIC เป็นสาย SAC

25 kV 90°C SAC

SPACED AERIAL CABLE

Construction

1. Conductor : Compact round stranded hard-drawn aluminium wires
2. Conductor screen : Semi conductive cross-linked polyethylene (XLPE) compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE)
4. Jacket : Black cross-linked polyethylene (XLPE)

Reference Standard :

TIS 2341-2555

Classification

Maximum conductor temperature : 90 °C

Maximum circuit voltage : 25000 V

AC test voltage : 38,000 V

Application

- For aerial power transmission and distribution line

Conductor			Thickness of conductor screen	Thickness of insulation	Thickness of jacket	Overall diameter	Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 15.6°C	Conductor weight	Conductor breaking strength	Current rating in free air at 40°C ambient	Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter of conductor											
mm² (Nominal)	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Average)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	kg/km (Approx.)	N (Min.)	A	kg/km (Approx.)	m/drum
35	6	6.88	0.3	3.18	3.18	21.0	0.868	2,580	94	5,591	150	381	1,500
50	6	7.92	0.3	3.18	3.18	22.0	0.641	2,380	128	7,313	181	438	1,500
70	12	9.55	0.3	3.18	3.18	23.5	0.443	2,126	185	10,420	225	527	1,500
95	15	11.27	0.3	3.18	3.18	25.5	0.320	1,913	256	14,098	275	636	1,500
120	15	12.68	0.3	3.18	3.18	27.0	0.253	1,759	324	18,518	319	734	1,000
150	15	14.05	0.3	3.18	3.18	28.0	0.206	1,648	398	22,457	362	838	1,000
185	30	15.75	0.3	3.18	3.18	30.0	0.164	1,521	500	28,974	418	970	1,000
240	30	18.23	0.3	3.18	3.18	32.5	0.125	1,367	655	37,506	497	1178	1,000

รูปที่ 4.3 สาย SAC

35 kV 90°C SAC

SPACED AERIAL CABLE

Construction

1. Conductor : Compact round stranded hard-drawn aluminium wires
2. Conductor screen : Semi conductive cross-linked polyethylene (XLPE) compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE)
4. Jacket : Black cross-linked polyethylene (XLPE)

Reference Standard :

TIS 2341-2555

Classification

Maximum conductor temperature	: 90 °C
Maximum circuit voltage	: 35,000 V
AC test voltage	: 49,000 V

Application

- For aerial power transmission and distribution line

Conductor			Thickness of conductor screen	Thickness of insulation	Thickness of jacket	Overall diameter	Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 15.6°C	Conductor weight	Conductor breaking strength	Current rating in free air at 40°C ambient	Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter of conductor											
mm^2 (Nominal)	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Average)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	kg/km (Approx.)	N (Min.)	A	kg/km (Approx.)	m/drum
50	6	7.92	0.3	4.45	3.18	22.0	0.641	2,677	128	7,313	181	525	1,500
70	12	9.55	0.3	4.45	3.18	23.5	0.443	2,403	185	10,420	225	621	1,500
95	15	11.27	0.3	4.45	3.18	25.5	0.320	2,172	256	14,098	274	736	1,000
120	15	12.68	0.3	4.45	3.18	27.0	0.253	2,004	324	18,518	317	840	1,000
150	15	14.05	0.3	4.45	3.18	28.0	0.206	1,883	398	22,457	360	948	1,000
185	30	15.75	0.3	4.45	3.18	30.0	0.164	1,743	500	28,974	415	1,087	1,000
240	30	18.23	0.3	4.45	3.18	32.5	0.125	1,573	655	37,506	493	1,305	1,000

รูปที่ 4.3 สาย SAC (ต่อ)

4.5 สายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด

สายแบบนี้มี Metallic Insulation Screen จึงสามารถแตะต้องได้และติดตั้งได้ทุกรูปแบบ เดินลอยอากาศ ในท่อร้อยสายในอากาศ ในท่อร้อยสายใต้ดิน หรือฝังดินโดยตรง

พิกัดแรงดัน

U_o / U (U_{max})

U_o แรงดัน RMS เทียบกับดิน

U แรงดัน RMS ระหว่างสาย

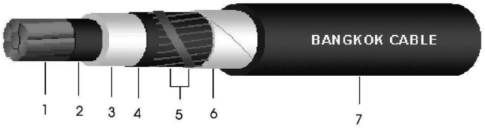
U_{max} แรงดันใช้งานสูงสุด

แรงดันพิกัดสำหรับสาย MV ได้แก่

- 1.8 / 3 (3.6) kV
- 3.6 / 6 (7.2) kV
- 6 / 10 (12) kV
- 8.7 / 15 (17.5) kV
- 12 / 20 (24) kV
- 18 / 30 (36) kV

12/20(24) kV CV (CE optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper wires with copper contact tape
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

IEC 60502-2

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C
Maximum circuit voltage : 24 kV
AC test voltage : 42 kV

Application

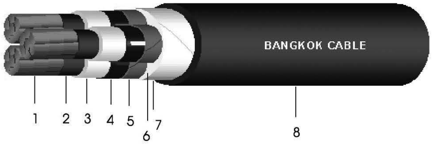
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Area of metallic screen	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area mm²	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm²	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A	kg/km (Approx.)	m/drum
35	6	6.95	5.5	19.5	10	1.8	28	0.524	3,500	205	180	960	500
50	6	8.33	5.5	20.9	10	1.8	29	0.387	3,140	245	215	1,110	500
70	12	9.73	5.5	22.3	10	1.9	31	0.268	2,850	305	260	1,360	500
95	15	11.43	5.5	24.0	10	1.9	33	0.193	2,570	375	315	1,650	500
120	18	12.95	5.5	25.5	10	2.0	35	0.153	2,360	435	355	1,940	500
150	18	14.27	5.5	26.9	16	2.0	36	0.124	2,210	490	400	2,280	500
185	30	15.98	5.5	28.6	16	2.1	38	0.0991	2,030	565	460	2,690	500
240	34	18.47	5.5	31.1	25	2.2	41	0.0754	1,830	670	530	3,400	500
300	34	20.68	5.5	33.3	25	2.2	43	0.0601	1,680	775	600	4,020	500
400	53	23.39	5.5	36.0	25	2.3	47	0.0470	1,520	900	690	4,890	500
500	53	26.67	5.5	39.8	25	2.4	51	0.0366	1,350	1,045	780	6,050	300
630	53	30.22	5.5	43.4	25	2.5	54	0.0283	1,220	1,215	890	7,520	300
800	53	34.00	5.5	47.2	25	2.7	59	0.0221	1,110	1,390	1,000	9,330	250

รูปที่ 4.4 สาย XLPE 1 core

12/20(24) kV CV (CE optional)*

3 CORES - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape
6. Filler : Polypropylene (Non-hygroscopic material)
7. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
8. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

IEC 60502-2

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C
Maximum circuit voltage : 24 kV
AC test voltage : 42 kV

Application

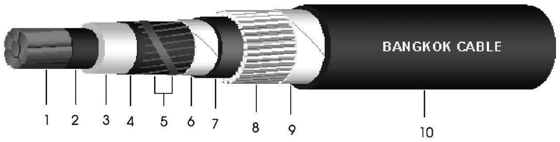
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter							in free air at 40°C ambient	direct burial in ground at 30°C		
mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	A	A	kg/km (Approx.)	m/drum
35	6	6.95	5.5	19.5	2.6	54	0.524	3,500	180	175	3,240	500
50	6	8.33	5.5	20.9	2.7	57	0.387	3,140	215	205	3,820	500
70	12	9.73	5.5	22.3	2.8	61	0.268	2,850	265	250	4,640	500
95	15	11.43	5.5	24.0	2.9	65	0.193	2,570	325	300	5,680	300
120	18	12.95	5.5	25.5	3.0	68	0.153	2,360	370	340	6,650	300
150	18	14.27	5.5	26.9	3.1	71	0.124	2,210	420	385	7,670	300
185	30	15.98	5.5	28.6	3.3	76	0.0991	2,030	485	435	9,070	250
240	34	18.47	5.5	31.1	3.4	81	0.0754	1,830	575	505	11,160	200
300	34	20.68	5.5	33.3	3.6	87	0.0601	1,680	660	570	13,350	150
400	53	23.39	5.5	36.0	3.8	93	0.0470	1,520	760	645	16,310	150

รูปที่ 4.5 สาย XLPE 3 cores

12/20(24) kV CV-AWA (CE-AWA optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE WITH ARMOUR



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper wires with copper contact tape
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Inner sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*
8. Armour : Aluminium wires
9. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
10. Outer sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

IEC 60502-2

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 24 kV

AC test voltage : 42 kV

Application

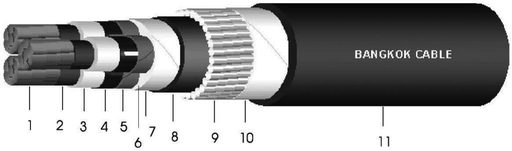
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Area of metallic screen	Thickness of inner sheath	Diameter under armour	Diameter of wire armour	Thickness of outer sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter										In free air at 40°C ambient	direct burial in ground at 30°C		
mm²	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm²	(Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	A	A	kg/km (Approx.)	m/drum
35	6	6.95	5.5	19.5	10	1.2	26.0	1.6	2.0	35	0.524	205	180	1,510	500
50	6	8.33	5.5	20.9	10	1.2	27.5	2.0	2.0	37	0.387	250	215	1,770	500
70	12	9.73	5.5	22.3	10	1.2	29.0	2.0	2.1	39	0.268	310	265	2,060	500
95	15	11.43	5.5	24.0	10	1.2	30.5	2.0	2.1	41	0.193	375	315	2,380	500
120	18	12.95	5.5	25.5	10	1.2	32.0	2.0	2.2	42	0.153	430	360	2,710	500
150	18	14.27	5.5	26.9	16	1.2	33.5	2.0	2.2	44	0.124	490	405	3,080	500
185	30	15.98	5.5	28.6	16	1.2	35.0	2.0	2.3	46	0.0991	560	460	3,520	500
240	34	18.47	5.5	31.1	25	1.3	38.0	2.5	2.4	50	0.0754	665	535	4,470	500
300	34	20.68	5.5	33.3	25	1.3	40.5	2.5	2.5	53	0.0601	760	600	5,180	300
400	53	23.39	5.5	36.0	25	1.4	43.5	2.5	2.6	56	0.0470	880	685	6,160	300
500	53	26.67	5.5	39.8	25	1.4	47.0	2.5	2.7	60	0.0366	1,020	780	7,430	300
630	53	30.22	5.5	43.4	25	1.5	50.5	2.5	2.8	64	0.0283	1,170	890	9,010	250
800	53	34.00	5.5	47.2	25	1.6	54.5	2.5	3.0	69	0.0221	1,330	995	10,970	200

รูปที่ 4.6 สาย XLPE 1 core with armour

12/20(24) kV CV-SWA (CE-SWA optional)*

3 CORES - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE WITH ARMOUR



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape
6. Filler : Polypropylene (Non-hygroscopic material)
7. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
8. Inner sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*
9. Armour : Galvanized steel wires
10. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
11. Outer sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

IEC 60502-2

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 24 kV

AC test voltage : 42 kV

Application

For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of inner sheath	Diameter under armour	Diameter of wire armour	Thickness of outer sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter									in free air at 40°C ambient	direct burial in ground at 30°C		
mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	A	A	kg/km (Approx.)	m/drum
35	6	6.95	5.5	19.5	1.5	50.0	2.5	2.9	64	0.524	180	170	6,350	300
50	6	8.33	5.5	20.9	1.6	53.5	2.5	3.0	67	0.387	215	200	7,150	300
70	12	9.73	5.5	22.3	1.6	56.5	2.5	3.1	70	0.268	265	245	8,160	300
95	15	11.43	5.5	24.0	1.7	60.0	2.5	3.2	75	0.193	320	295	9,480	250
120	18	12.95	5.5	25.5	1.8	63.5	3.15	3.4	80	0.153	365	330	11,600	200
150	18	14.27	5.5	26.9	1.8	66.5	3.15	3.5	83	0.124	410	370	12,850	150
185	30	15.98	5.5	28.6	1.9	70.5	3.15	3.6	87	0.0991	465	415	14,550	150
240	34	18.47	5.5	31.1	2.0	76.0	3.15	3.8	94	0.0754	545	475	17,120	100
300	34	20.68	5.5	33.3	2.1	81.0	3.15	3.9	99	0.0601	615	530	19,690	100

รูปที่ 4.7 สาย XLPE 3 cores with armour

ส่วนประกอบของสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัดตามรูปที่ 4.7

1. Conductor

   ตัวนำทำจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงเป็นแบบตัวนำตีเกลียว (Strand) โลหะที่นิยมใช้คือ ทองแดง และอะลูมิเนียม

2. Conductor Screen

   เป็นวัสดุกึ่งตัวนำหุ้มตัวนำ ทำหน้าที่กระจายสนามไฟฟ้า ไม่ให้หนาแน่น

3. Insulation

   ฉนวนทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสกันระหว่างตัวนำและระหว่างตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน

   ฉนวนที่นิยมใช้คือ XLPE

4. Insulation Screen

   เป็นวัสดุกึ่งตัวนำที่หุ้มอยู่บนฉนวน ทำหน้าที่ลดการเกิด Discharge ที่ผิวฉนวน

5. Metallic Screen

   ทำด้วยลวดหรือเทปโลหะ ที่ทำจากทองแดง ใช้พันบนตัวนำ เพื่อจำกัดสนามไฟฟ้า และ ปล่อย Discharge Current ลงดิน

6. Filler

   ตัวเติม ใช้เติมให้เต็มในช่องระหว่างแกนของสายหลายแกน ทำจากวัสดุที่ไม่อมความชื้น Non - hygroscopic Material

7. Binding Tape

   ทำจากวัสดุไม่อมความชื้น (Non - hygroscopic Material) มีหน้าที่ทำให้พื้นผิวเรียบ

8. Inner Sheath

   เปลือกภายใน ทำด้วย PVC หรือ PE

9. Armour

เกราะป้องกัน ทำด้วยเส้นลวดหรือเทปโลหะ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ป้องกันทางกลให้สายไฟ ใช้ลวดเหล็กอะลูมิเนียม หรือ เทปเหล็ก สำหรับสายแกนเดียวใช้อะลูมิเนียม สาย 3 แกนใช้เหล็ก

10. Binding Tape

ทำให้พื้นผิวของ Armour เรียบ

11. Outer Sheath

เปลือกภายนอก ทำด้วย PVC หรือ PE

4.6 พิกัดกระแสของสาย MV หุ้มฉนวน

1. สาย SAC เดินบน Spacer ในอากาศ
2. สาย XLPE การติดตั้งกลุ่มที่ 7, 2, 5 และ Duct Bank

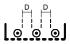
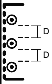
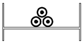
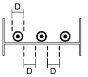
ตารางที่ 4.1

พิกัดกระแสสาย SAC

ขนาดสาย (mm^2)	สาย 25 kV (A)	สาย 35 kV (A)
35	150	-
50	181	181
70	225	225
95	275	274
120	319	317
150	362	360
185	418	415
240	497	493

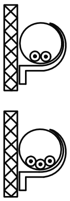
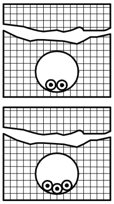
ตารางที่ 4.2
(ตารางที่ 5 - 36)

ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน เปลือกนอกพีวีซี มีชีลด์ ขนาดแรงดัน (U_o/U) ตั้งแต่ 3.6/6 กิโลโวลต์ ถึง 18/30 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือบนรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7								
จำนวนตัวนำกระแส	3								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้	ตามมาตรฐาน IEC 60502-2								
ชนิดรางเคเบิล	แบบระบายอากาศ						แบบบันได		
รูปแบบการติดตั้ง									
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)								
50	217	217	255	อยู่ระหว่างการพิจารณา	217	อยู่ระหว่างการพิจารณา	221	217	260
70	270	269	317		269		276	269	324
95	329	329	387		329		336	329	395
120	380	379	446		379		388	379	455
150	429	430	499		430		438	430	509
185	490	494	568		494		501	494	580
240	577	583	664		583		589	583	678
300	659	669	754		669		672	669	770
400	746	769	837		769		762	769	854

ตารางที่ 4.3
(ตารางที่ 5 - 37)

ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน เปลือกนอกพีวีซี มีชีลด์ ขนาดแรงดัน (U_o/U) ตั้งแต่ 3.6/6 กิโลโวลต์ ถึง 18/30 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C (เดินร้อยในท่อในอากาศ) และ 30 °C (ร้อยท่อฝังดิน)

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 5
จำนวนตัวนำกระแส	ไม่เกิน 3	
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว	
รูปแบบการติดตั้ง		
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	ตามมาตรฐาน IEC 60502-2	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
35	148	149
50	175	178
70	215	218
95	265	265
120	303	303
150	348	341
185	396	386
240	478	454
300	551	521
400	636	607
500	730	706

ตารางที่ 4.4
(ตารางที่ 5 - 38)

ขนาดกระแสสายเคเบิลตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 30 °C ขนาดแรงดัน (U_o/U) 3.6/6 ถึง 18/30 กิโลโวลต์ เดินใน duct bank ไม่เกิน 8 ท่อ

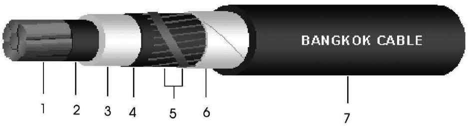
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแสต่อ 1 วงจร (แอมแปร์) จำนวนวงจรทั้งหมด							
	1	2	3	4	5	6	7	8
35	175	160	147	137	130	122	116	110
50	210	191	175	162	153	144	136	130
70	251	228	208	193	182	171	161	154
95	313	282	256	236	222	208	196	187
120	357	322	292	270	254	238	224	213
150	405	362	327	300	282	263	248	235
185	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

4.7 สายไฟฟ้าแรงดันสูงของ BCC

บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด (BCC) ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำในประเทศ ได้ผลิตสายไฟฟ้าแรงดันสูงทุกชนิดตามการใช้งานดังรูป

18/30(36) kV CV (CE optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper wires with copper contact tape
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

IEC 60502-2

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C
Maximum circuit voltage : 36 kV
AC test voltage : 63 kV

Application

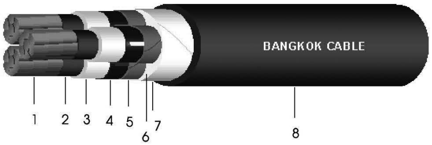
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness	Diameter	Area	Thickness	Overall	DC.	Insulation	Current rating		Cable	Standard
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter	of insulation	over insulation	of metallic screen	of sheath	diameter	Conductor resistance at 20°C	resistance at 20°C	in free air at 40°C ambient	direct burial in ground at 30°C	weight	length
mm²	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm²	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	A	A	kg/km (Approx.)	m/drum
50	6	8.33	8.0	26.1	10	2.0	35	0.387	4,030	245	215	1,390	500
70	12	9.73	8.0	27.5	10	2.0	37	0.268	3,690	305	260	1,630	500
95	15	11.43	8.0	29.2	10	2.1	39	0.193	3,350	375	315	1,950	500
120	18	12.95	8.0	30.7	10	2.1	40	0.153	3,100	430	355	2,240	500
150	18	14.27	8.0	32.1	16	2.2	42	0.124	2,910	490	400	2,620	500
185	30	15.98	8.0	33.8	16	2.2	44	0.0991	2,700	560	455	3,020	500
240	34	18.47	8.0	36.3	25	2.3	47	0.0754	2,440	665	530	3,750	500
300	34	20.68	8.0	38.5	25	2.4	49	0.0601	2,250	765	595	4,410	500
400	53	23.39	8.0	41.2	25	2.5	52	0.0470	2,060	890	680	5,310	300
500	53	26.67	8.0	45.0	25	2.6	56	0.0366	1,840	1,035	780	6,510	300
630	53	30.22	8.0	48.6	25	2.7	60	0.0283	1,670	1,200	890	8,010	300
800	53	34.00	8.0	52.4	25	2.8	64	0.0221	1,520	1,375	1,000	9,830	250

รูปที่ 4.8 สาย XLPE 1 core ขนาดแรงดัน 18/30 (36) kV

18/30(36) kV CV (CE optional)*

3 CORES - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape
6. Filler : Polypropylene (Non-hygroscopic material)
7. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
8. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

IEC 60502-2

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 36 kV

AC test voltage : 63 kV

Application

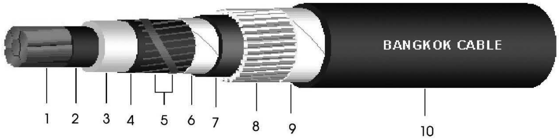
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area mm²	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A	kg/km (Approx.)	m/drum
50	6	8.33	8.0	26.1	3.1	70.0	0.387	4,030	220	205	5,020	300
70	12	9.73	8.0	27.5	3.2	73.0	0.268	3,690	270	250	5,900	300
95	15	11.43	8.0	29.2	3.3	77.0	0.193	3,350	330	300	7,010	300
120	18	12.95	8.0	30.7	3.4	81.0	0.153	3,100	380	340	8,040	300
150	18	14.27	8.0	32.1	3.5	84.0	0.124	2,910	430	380	9,130	250
185	30	15.98	8.0	33.8	3.6	88.0	0.0991	2,700	490	435	10,560	200
240	34	18.47	8.0	36.3	3.8	94.0	0.0754	2,440	580	505	12,800	150
300	34	20.68	8.0	38.5	4.0	99.0	0.0601	2,250	660	570	15,080	150
400	53	23.39	8.0	41.2	4.2	106.0	0.0470	2,060	765	650	18,160	100

รูปที่ 4.9 สาย XLPE 3 cores ขนาดแรงดัน 18/30 (36) kV

18/30(36) kV CV-AWA (CE-AWA optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE WITH ARMOUR



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper wires with copper contact tape
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Inner sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*
8. Armour : Aluminium wires
9. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
10. Outer sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

IEC 60502-2

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 36 kV

AC test voltage : 63 kV

Application

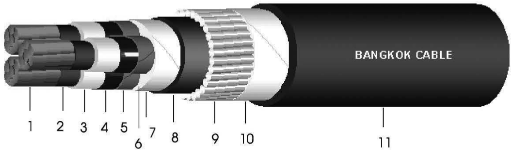
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Area of metallic screen	Thickness of inner sheath	Diameter under armour	Diameter of wire armour	Thickness of outer sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area mm²	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm²	(Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A	kg/km (Approx.)	m/drum
50	6	8.33	8.0	26.1	10	1.2	32.5	2.0	2.2	43	0.387	245	215	2,170	500
70	12	9.73	8.0	27.5	10	1.2	34.0	2.0	2.3	45	0.268	305	265	2,460	500
95	15	11.43	8.0	29.2	10	1.2	35.5	2.0	2.3	46	0.193	370	315	2,800	500
120	18	12.95	8.0	30.7	10	1.3	37.5	2.5	2.4	49	0.153	430	360	3,310	500
150	18	14.27	8.0	32.1	16	1.3	38.5	2.5	2.5	51	0.124	485	400	3,730	500
185	30	15.98	8.0	33.8	16	1.3	40.5	2.5	2.5	53	0.0991	555	455	4,170	500
240	34	18.47	8.0	36.3	25	1.4	43.5	2.5	2.6	56	0.0754	655	530	5,020	300
300	34	20.68	8.0	38.5	25	1.4	46.0	2.5	2.7	59	0.0601	750	595	5,750	300
400	53	23.39	8.0	41.2	25	1.5	48.5	2.5	2.8	62	0.0470	870	675	6,760	300
500	53	26.67	8.0	45.0	25	1.5	52.5	2.5	2.9	66	0.0366	1,005	770	8,070	250
630	53	30.22	8.0	48.6	25	1.6	56.0	2.5	3.0	70	0.0283	1,155	870	9,690	250
800	53	34.00	8.0	52.4	25	1.7	60.0	2.5	3.1	74	0.0221	1,310	970	11,650	200

รูปที่ 4.10 สาย XLPE 1 core with armour ขนาดแรงดัน 18/30 (36) kV

18/30(36) kV CV-SWA (CE-SWA optional)*

3 CORES - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE WITH ARMOUR



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape
6. Filler : Polypropylene (Non-hygroscopic material)
7. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
8. Inner sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*
9. Armour : Galvanized steel wires
10. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
11. Outer sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

IEC 60502-2

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 36 kV

AC test voltage : 63 kV

Application

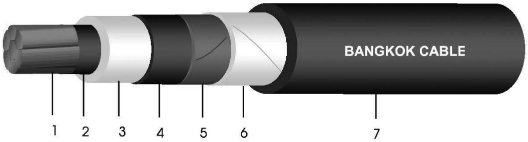
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of inner sheath	Diameter under armour	Diameter of wire armour	Thickness of outer sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area mm²	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A	kg/km (Approx.)	m/drum
50	6	8.33	8.0	26.1	1.8	65.0	3.15	3.4	81	0.387	215	200	10,020	200
70	12	9.73	8.0	27.5	1.9	68.0	3.15	3.5	85	0.268	265	245	11,160	200
95	15	11.43	8.0	29.2	1.9	72.0	3.15	3.7	89	0.193	320	290	12,610	150
120	18	12.95	8.0	30.7	2.0	75.5	3.15	3.8	93	0.153	365	330	13,990	150
150	18	14.27	8.0	32.1	2.0	78.0	3.15	3.9	96	0.124	415	370	15,240	150
185	30	15.98	8.0	33.8	2.1	82.0	3.15	4.0	100	0.0991	470	415	17,020	100
240	34	18.47	8.0	36.3	2.2	87.5	3.15	4.2	107	0.0754	545	475	19,770	100

รูปที่ 4.11 สาย XLPE 3 cores with armour ขนาดแรงดัน 18/30 (36) kV

15 kV CV (CE optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE (100% INSULATION LEVELS)



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape (or copper wires)
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

ICEA S-93-639

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C
Maximum circuit voltage : 15 kV
AC test voltage : 35 kV
: 44 kV (for size over 500 mm^2)

Application

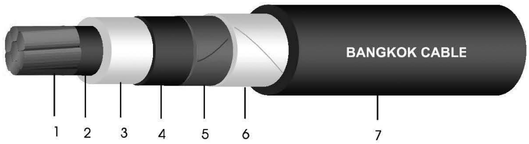
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 15.6°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter							in free air at 40°C ambient	direct burial in ground at 30°C		
mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Min.)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	A	A	kg/km (Approx.)	m/drum
25	6	5.90	4.45	16.3	1.78	23	0.727	2,209	160	150	690	500
35	6	6.95	4.45	17.4	1.78	24	0.524	2,009	200	180	820	500
50	6	8.33	4.45	18.7	1.78	26	0.387	1,797	245	215	970	500
70	12	9.73	4.45	20.1	1.78	27	0.268	1,624	300	260	1,200	500
95	15	11.43	4.45	21.8	1.78	29	0.193	1,455	370	315	1,490	500
120	18	12.95	4.45	23.4	1.78	30	0.153	1,332	425	355	1,760	500
150	18	14.27	4.45	24.7	1.78	32	0.124	1,242	485	400	2,050	500
185	30	15.98	4.45	26.4	1.78	34	0.0991	1,141	560	455	2,430	500
240	34	18.47	4.45	28.9	1.78	36	0.0754	1,021	665	530	3,030	500
300	34	20.68	4.45	31.1	1.78	38	0.0601	934	765	595	3,650	500
400	53	23.39	4.45	33.8	1.78	41	0.0470	846	890	680	4,490	500
500	53	26.67	4.45	37.6	1.78	45	0.0366	746	1,040	780	5,620	300
630	53	30.22	5.59	43.6	2.54	53	0.0283	673	1,200	885	7,420	300
800	53	34.00	5.59	47.3	2.54	57	0.0221	609	1,380	995	9,190	250

รูปที่ 4.12 สาย XLPE (100% insulation levels) ขนาดแรงดัน 15 kV

15 kV CV (CE optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE (133% INSULATION LEVELS)



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape (or copper wires)
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

ICEA S-93-639

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C
Maximum circuit voltage : 15 kV
AC test voltage : 44 kV

Application

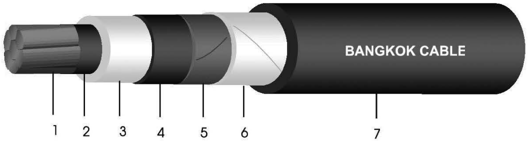
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 15.6°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter							In free air at 40°C ambient	direct burial in ground at 30°C		
mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Min.)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	A	A	kg/km (Approx.)	m/drum
25	6	5.90	5.59	18.7	1.78	26	0.727	2,568	160	150	790	500
35	6	6.95	5.59	19.7	1.78	27	0.524	2,347	200	180	910	500
50	6	8.33	5.59	21.1	1.78	28	0.387	2,111	245	215	1,070	500
70	12	9.73	5.59	22.5	1.78	30	0.268	1,918	300	260	1,310	500
95	15	11.43	5.59	24.2	1.78	31	0.193	1,728	370	315	1,600	500
120	18	12.95	5.59	25.7	1.78	33	0.153	1,588	425	355	1,880	500
150	18	14.27	5.59	27.1	1.78	34	0.124	1,484	485	400	2,170	500
185	30	15.98	5.59	28.8	1.78	36	0.0991	1,368	560	455	2,560	500
240	34	18.47	5.59	31.3	1.78	39	0.0754	1,230	665	530	3,170	500
300	34	20.68	5.59	33.5	1.78	41	0.0601	1,128	765	595	3,800	500
400	53	23.39	5.59	36.2	1.78	44	0.0470	1,025	890	680	4,650	500
500	53	26.67	5.59	40.0	2.54	49	0.0366	908	1,040	780	5,970	300
630	53	30.22	5.59	43.6	2.54	53	0.0283	821	1,200	885	7,420	300
800	53	34.00	5.59	47.3	2.54	57	0.0221	745	1,380	995	9,190	250

รูปที่ 4.13 สาย XLPE (133% insulation levels) ขนาดแรงดัน 15 kV

25 kV CV (CE optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE (100% INSULATION LEVELS)



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape (or copper wires)
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

ICEA S-93-639

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C
Maximum circuit voltage : 25 kV
AC test voltage : 52 kV

Application

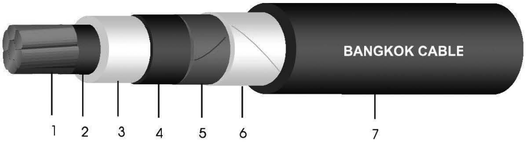
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 15.6°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area mm²	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Min.)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A	kg/km (Approx.)	m/drum
35	6	6.95	6.6	21.8	1.78	29	0.524	2,614	200	180	1,010	500
50	6	8.33	6.6	23.2	1.78	30	0.387	2,362	245	215	1,170	500
70	12	9.73	6.6	24.6	1.78	32	0.268	2,154	305	260	1,410	500
95	15	11.43	6.6	26.3	1.78	33	0.193	1,948	370	310	1,710	500
120	18	12.95	6.6	27.8	1.78	35	0.153	1,795	425	355	1,990	500
150	18	14.27	6.6	29.2	1.78	36	0.124	1,682	485	400	2,290	500
185	30	15.98	6.6	30.9	1.78	38	0.0991	1,555	560	455	2,690	500
240	34	18.47	6.6	33.4	1.78	41	0.0754	1,402	660	525	3,300	500
300	34	20.68	6.6	35.6	1.78	43	0.0601	1,289	760	595	3,930	500
400	53	23.39	6.6	38.3	2.54	47	0.0470	1,174	880	680	4,970	500
500	53	26.67	6.6	42.1	2.54	51	0.0366	1,043	1,025	775	6,130	300
630	53	30.22	6.6	45.7	2.54	55	0.0283	946	1,190	885	7,600	300
800	53	34.00	6.6	49.4	2.54	59	0.0221	860	1,365	995	9,380	250

รูปที่ 4.14 สาย XLPE (100% insulation levels) ขนาดแรงดัน 25 kV

25 kV CV (CE optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE (133% INSULATION LEVELS)



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape (or copper wires)
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

ICEA S-93-639

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C
Maximum circuit voltage : 25 kV
AC test voltage : 64 kV

Application

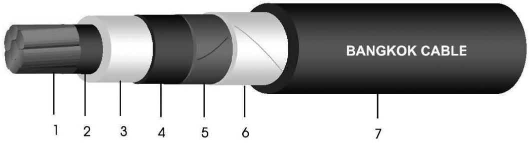
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 15.6°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area mm²	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Min.)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A	kg/km (Approx.)	m/drum
35	6	6.95	8.13	25.0	1.78	32	0.524	2,974	200	180	1,170	500
50	6	8.33	8.13	26.4	1.78	34	0.387	2,702	245	215	1,340	500
70	12	9.73	8.13	27.8	1.78	35	0.268	2,475	305	260	1,580	500
95	15	11.43	8.13	29.5	1.78	37	0.193	2,250	370	310	1,890	500
120	18	12.95	8.13	31.0	1.78	38	0.153	2,081	425	355	2,180	500
150	18	14.27	8.13	32.3	1.78	40	0.124	1,956	485	400	2,480	500
185	30	15.98	8.13	34.0	1.78	41	0.0991	1,814	560	455	2,890	500
240	34	18.47	8.13	36.5	1.78	44	0.0754	1,643	660	525	3,510	500
300	34	20.68	8.13	38.7	2.54	48	0.0601	1,516	760	595	4,330	500
400	53	23.39	8.13	41.5	2.54	51	0.0470	1,386	880	680	5,210	500
500	53	26.67	8.13	45.3	2.54	55	0.0366	1,236	1,025	775	6,400	300
630	53	30.22	8.13	48.8	2.54	58	0.0283	1,124	1,190	885	7,880	300
800	53	34.00	8.13	52.6	2.54	62	0.0221	1,025	1,365	995	9,680	250

รูปที่ 4.15 สาย XLPE (133% insulation levels) ขนาดแรงดัน 25 kV

35 kV CV (CE optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE (100% INSULATION LEVELS)



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape (or copper wires)
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

ICEA S-93-639

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 35 kV

AC test voltage : 69 kV

Application

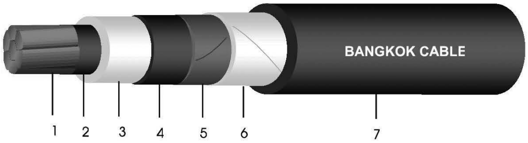
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 15.6°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area mm²	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Min.)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A	kg/km (Approx.)	m/drum
50	6	8.33	8.76	27.7	1.78	35	0.387	2,830	245	210	1,410	500
70	12	9.73	8.76	29.1	1.78	36	0.268	2,597	305	260	1,650	500
95	15	11.43	8.76	30.8	1.78	38	0.193	2,364	370	310	1,970	500
120	18	12.95	8.76	32.3	1.78	40	0.153	2,191	425	355	2,260	500
150	18	14.27	8.76	33.6	1.78	41	0.124	2,061	485	400	2,560	500
185	30	15.98	8.76	35.4	1.78	43	0.0991	1,914	555	450	2,970	500
240	34	18.47	8.76	37.8	1.78	45	0.0754	1,736	655	525	3,600	500
300	34	20.68	8.76	40.1	2.54	49	0.0601	1,604	750	595	4,430	500
400	53	23.39	8.76	42.8	2.54	52	0.0470	1,468	870	680	5,320	300
500	53	26.67	8.76	46.6	2.54	56	0.0366	1,311	1,015	775	6,510	300
630	53	30.22	8.76	50.2	2.54	60	0.0283	1,194	1,180	885	7,990	300
800	53	34.00	8.76	53.9	2.54	64	0.0221	1,090	1,350	995	9,800	200

รูปที่ 4.16 สาย XLPE (100% insulation levels) ขนาดแรงดัน 35 kV

35 kV CV (CE optional)*

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE (133% INSULATION LEVELS)



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Metallic screen : Copper tape (or copper wires)
6. Binding tape : Polyester or Spunbond tape
7. Sheath : Black Polyvinyl chloride (PVC), (Optional : PE)*

Reference Standard

ICEA S-93-639

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 35 kV

AC test voltage : 84 kV

Application

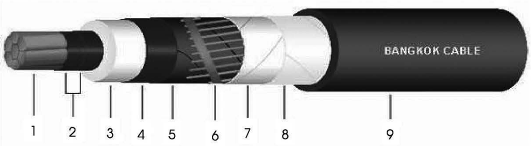
For general purpose power distribution in dry or wet location. Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.

Conductor			Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	DC. Conductor resistance at 20°C	Insulation resistance at 15.6°C	Current rating		Cable weight	Standard length
Cross-sectional area mm^2	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Min.)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	MΩ.km (Min.)	in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A	kg/km (Approx.)	m/drum
50	6	8.33	10.67	31.7	1.78	39	0.387	3,184	245	210	1,640	500
70	12	9.73	10.67	33.1	1.78	40	0.268	2,935	305	260	1,890	500
95	15	11.43	10.67	34.8	1.78	42	0.193	2,685	370	310	2,220	500
120	18	12.95	10.67	36.3	1.78	44	0.153	2,497	425	355	2,510	500
150	18	14.27	10.67	37.6	2.54	47	0.124	2,356	480	400	3,000	500
185	30	15.98	10.67	39.3	2.54	49	0.0991	2,196	550	450	3,420	500
240	34	18.47	10.67	41.8	2.54	51	0.0754	2,000	655	525	4,080	500
300	34	20.68	10.67	44.0	2.54	53	0.0601	1,854	750	595	4,740	500
400	53	23.39	10.67	46.7	2.54	56	0.0470	1,703	870	680	5,650	300
500	53	26.67	10.67	50.6	2.54	60	0.0366	1,528	1,015	775	6,860	300
630	53	30.22	10.67	54.1	2.54	64	0.0283	1,395	1,180	885	8,370	300
800	53	34.00	10.67	57.9	2.54	68	0.0221	1,278	1,350	995	10,200	200

รูปที่ 4.17 สาย XLPE (133% insulation levels) ขนาดแรงดัน 35 kV

69 kV CE

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive tape with extruded Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Water blocking tape : Semi-conductive water blocking tape
6. Metallic screen : Copper wires with copper contact tape
7. Water blocking and Cushioning tape : Non-conductive water blocking tape
8. Radial water barrier : Copolymer aluminium tape
9. Sheath : Black Polyethylene (PE) , (Optional : with RIB)

Reference Standard

IEC 60840

TIS 2202

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 72.5 kV

AC test voltage : 90 kV

Application

Preferably laid in substations, factories and urban area. The cable shall be suitable for use in ducts, trays and direct burial in ground, subjected to immerse in water all time.

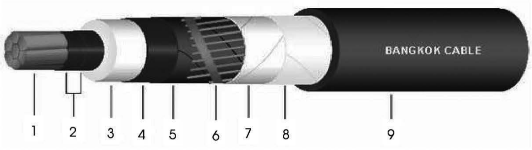
Conductor			Thickness of conductor screen	Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of insulation screen	Area of metallic screen*	Thickness of sheath	Overall diameter (Excluding Rib)	DC. Conductor resistance at 20°C	Capacitance	Current rating direct burial in ground at 30°C	Cable weight (Excluding Rib)	Standard length
Cross-sectional area mm^2	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm^2	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	µF/km (Nominal)	A	kg/km (Approx.)	m/drum
400	53	23.39	1.5	11.0	49.2	1.5	120	3.5	68	0.0470	0.222	680	7,280	500
500	53	26.67	1.5	11.0	53.1	1.5	120	3.5	71	0.0366	0.246	775	8,520	500
630	53	30.22	1.5	11.0	56.6	1.5	120	3.5	75	0.0283	0.269	885	10,050	300
800	53	34.00	1.5	11.0	60.4	1.5	120	3.5	79	0.0221	0.292	995	11,900	300

* The area of metallic screen can be designed upon request by not less than 95 mm^2

รูปที่ 4.18 สาย XLPE ขนาดแรงดัน 69 kV

115 kV CE

1 CORE - CROSSLINKED POLYETHYLENE POWER CABLE



Construction

1. Conductor : Circular compact stranded annealed copper
2. Conductor screen : Semi-conductive tape with extruded Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE) compound
4. Insulation screen : Semi-conductive cross-linked polyethylene compound
5. Water blocking tape : Semi-conductive water blocking tape
6. Metallic screen : Copper wires with copper contact tape
7. Water blocking and Cushioning tape : Non-conductive water blocking tape
8. Radial water barrier : Copolymer aluminium tape
9. Sheath : Black Polyethylene (PE) , (Optional : with RIB)

Reference Standard

IEC 60840

TIS 2202

Classification

Maximum conductor temperature : 90°C

Maximum circuit voltage : 123 kV

AC test voltage : 160 kV

Application

Preferably laid in substations, factories and urban area. The cable shall be suitable for use in ducts, trays and direct burial in ground, subjected to immerse in water all time.

Conductor			Thickness of conductor screen	Thickness of insulation	Diameter over insulation	Thickness of insulation screen	Area of metallic screen*	Thickness of sheath	Overall diameter (Excluding Rib)	DC. Conductor resistance at 20°C	Capacitance	Current rating direct burial in ground at 30°C	Cable weight (Excluding Rib)	Standard length
Cross-sectional area	No. of wires	Diameter												
mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm^2	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	µF/km (Nominal)	A	kg/km (Approx.)	m/drum
400	53	23.39	1.5	16.0	59.6	1.5	120	3.5	78	0.0470	0.170	680	8,320	500
500	53	26.67	1.5	16.0	63.5	1.5	120	3.5	82	0.0366	0.187	775	9,620	500
630	53	30.22	1.5	16.0	67.0	1.5	120	3.5	85	0.0283	0.203	880	11,210	300
800	53	34.00	1.5	16.0	70.8	1.5	120	3.5	89	0.0221	0.219	990	13,120	300

* The area of metallic screen can be designed upon request by not less than 95 mm^2

บทที่ 5 สายทนไฟ

5.1 บทนำ

สายไฟฟ้าที่มีใช้ในปัจจุบันขณะนี้ส่วนมากเป็นฉนวน PVC เมื่อเกิดเพลิงไหม้ทำให้เกิดควัน ก๊าซ และความร้อนเป็นจำนวนมาก เป็นเหตุให้เกิดการเสียชีวิต และสูญเสียทรัพย์สิน ดังนั้นสายไฟฟ้าที่จะใช้ในอาคารสมัยใหม่จะต้องทำให้มีคุณสมบัติป้องกันสิ่งเหล่านี้ สายไฟฟ้าชนิดนี้เรียกว่า สายทนไฟ (Fire Performance Cables) จะใช้ในวงจรที่สำคัญ และยังสามารถจ่ายกระแสได้ในระยะเวลาหนึ่งเมื่อเกิดเพลิงไหม้

5.2 คุณสมบัติ

คุณสมบัติอันพึงประสงค์ของสายทนไฟ (Fire Performance Cables) ที่ดีควรมีอย่างน้อย 4 ประการดังนี้

- การต้านเปลวเพลิง (Flame Propagation or Flame Retardant)
- การปล่อยก๊าซกรด (Acids and Corrosive Gas Emission)
- การปล่อยควัน (Smoke Emission)
- การต้านทานการติดไฟ (Fire Resistance)

5.3 การต้านเปลวเพลิง (Flame Propagation or Flame Retardant)

คือ มีคุณสมบัติการหน่วงเหนี่ยวลุกลามการไหม้ของสายไฟฟ้า เมื่อเกิดไฟไหม้สายไฟฟ้าจะช่วยลดปัญหาการลุกลามของไฟไปตามสายไฟฟ้า ดังนั้นบริเวณที่ถูกไฟไหม้จะไม่ขยายเป็นบริเวณกว้าง และเมื่อนำแหล่งไฟออกก็จะดับไปเอง (Self-extinguish)

มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐาน IEC 60332-1 มาตรฐานการทดสอบการหน่วงเหนี่ยวการลุกลามไฟของสายไฟเส้นเดี่ยวในแนวตั้ง โดยนำชิ้นทดสอบยาว 600 ± 25 mm ยึดกับที่ยึดสายในแนวตั้งและ จุดหัวเผา โดยให้หัวเผาเอียงทำมุม 45 องศา แล้วทำการเผาสายไฟในเวลาที่กำหนด ตามตารางที่ 5.1 ด้านล่าง เมื่อเผาแล้ววัดจากปลายสายด้านบนลงมาถึงระยะที่เปลวไฟลามมาถึงต้องได้มากกว่า 50 mm

ตารางที่ 5.1 เวลาการทดสอบ

Overall Diameter of test piece (D) ; mm	Time for flame application ; s
D ≤ 25	60
25 < D ≤ 50	120
50 < D ≤ 75	240
D < 75	480

มาตรฐาน IEC 60332-3 เป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับการทดสอบสายไฟฟ้าเพื่อกำหนดความสามารถในการต้านทานการลุกลามของไฟภายใต้สภาวะที่กำหนด โดยนำสายที่ต้องการทดสอบความยาวอย่างน้อย 3.5 m

จำนวน 2 ท่อนหรือมากกว่า ติดตั้งแบบแนวตั้งภายในตู้เผาขนาด 1 m x 2 m x 4 m เมื่อเผาสิ้นสุดแล้ว ระยะที่ถูกเผาไหม้ต้องสูงไม่เกิน 2.5 m วัดจากหัวเผา การทดสอบแบ่งเป็น 5 ประเภทดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ประเภทของการทดสอบ

Category	วัตถุดิบที่ติดไฟได้ (ลิตร/เมตร)	เวลาในการเผา (นาที)
A	7	40
B	3.5	40
C	1.5	20
A F/R	7	40
D	0.5	20

รูปที่ 5.1 แสดงการทดสอบ การต้านเปลวเพลิง (IEC 60332-3)

5.4 การปล่อยก๊าซกรด (Acids and Corrosive Gas Emission)

สายไฟฟ้าเมื่อถูกไฟไหม้ส่วนประกอบบางส่วนจะทำให้เกิดก๊าซขึ้น ก๊าซบางอย่างก็จะทำให้เกิดกรด ซึ่งมีคุณสมบัติการกัดกร่อนสูง สายทนไฟต้องไม่มีส่วนประกอบที่ทำให้เกิดสารฮาโลเจน (Zero Halogen)

มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐาน IEC 60754-2 มาตรฐานการทดสอบนี้ใช้วัดค่าความเป็นกรดของก๊าซซึ่งถูกปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้ของวัตถุดิบที่นำมาจากส่วนต่างๆ ของตัวอย่างสายไฟ โดยเตรียมชิ้นทดสอบประมาณ 1000 ± 5 mg จากสายตัวอย่างแล้วนำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปใส่ไว้ในถาดสำหรับเผา เตรียมระบบส่งอากาศและเตาเผาให้พร้อม แล้วนำถาดพร้อมชิ้นทดสอบเข้าเตาเผาแล้วเริ่มจับเวลา อุณหภูมิในการเผาต้องไม่ต่ำกว่า 935 °C - 965 °C ใช้เวลา 30 นาที นำน้ำที่ได้จากการดูดซึมควันไปตรวจสอบ ค่า pH และค่า Conductivity

ค่า pH ที่ได้ต้องไม่น้อยกว่า 4.3 และค่า Conductivity ต้องไม่เกิน 10 µS/mm

รูปที่ 5.2 แสดงการทดสอบ การปล่อยก๊าซกรด (IEC 60754-2)

5.5 การปล่อยควัน (Smoke Emission)

สายไฟฟ้าเมื่อถูกไฟไหม้ส่วนประกอบหลายอย่างจะทำให้เกิดควันขึ้น ควันเหล่านี้จะทำให้การมองเห็นลดลง และทำให้สำลักควันเสียชีวิต

มาตรฐานการทดสอบ

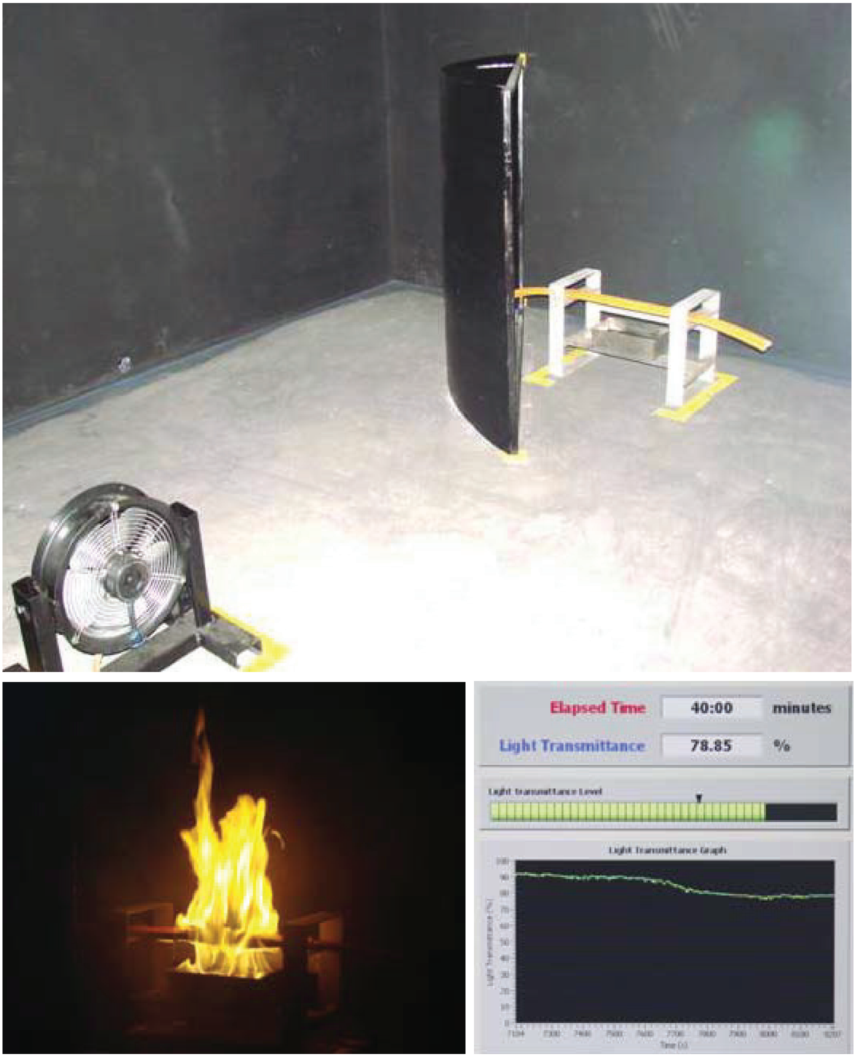
มาตรฐาน IEC 61034-2 มาตรฐานการทดสอบในส่วนนี้ว่าด้วยการทดสอบเพื่อวัดความหนาแน่นของควันที่เกิดจากการเผาไหม้สายไฟฟ้าภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่กำหนด โดยทดสอบในห้องทึบรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 3 m ทำการเผาสายตัวอย่างความยาว 1 ± 0.05 m วางในแนวนอนบนถาดแอลกอฮอล์ จากนั้นจึงปิดระบบหมุนเวียนอากาศแล้วจุดไฟ การทดสอบจะถือว่าเสร็จสิ้นหลังจากเปลวไฟดับแล้ว และไม่มีการลดของปริมาณแสง

ที่ส่องผ่าน 5 นาที หรือใช้เวลาในการทดสอบทั้งสิ้น 40 นาที บันทึกค่าต่ำสุดของค่าความเข้มแสงที่ผ่าน ความเข้มของแสงที่จดบันทึกไว้จากเครื่องรับแสงต้องมีความเข้มแสงหลังการทดสอบไม่น้อยกว่า 60 % ก่อนการทดสอบ สำหรับจำนวนท่อนของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ของสายตัวอย่าง ตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 จำนวนท่อนของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ Smoke Emission

D > 40.0	จำนวนท่อนของสายตัวอย่าง 1 ท่อน
20.0 < D ≤ 40.0	จำนวนท่อนของสายตัวอย่าง 2 ท่อน
10.0 < D ≤ 20.0	จำนวนท่อนของสายตัวอย่าง 3 ท่อน
5.0 < D ≤ 10.0	จำนวนท่อนของสายตัวอย่าง 45/D ท่อน โดยให้ปัดทศนิยมลง
1.0 ≤ D ≤ 5.0	จำนวนท่อนของสายตัวอย่าง 45/3D มัด* โดยให้ปัดทศนิยมลง

*แต่ละมัดประกอบด้วยสายตัวอย่างจำนวน 7 เส้นพันรวมแกนกันด้วยระยะเลย์ 20D-30D และมัดด้วยลวดขนาดประมาณ 0.5 มม. ตรงจุดกึ่งกลางของสายตัวอย่างและมัดทุกๆ ระยะ 100 มม. วัดจากจุดกึ่งกลางของสายตัวอย่างโดยมัดเป็น 2 รอบ



รูปที่ 5.3 แสดงการทดสอบ การปล่อยควัน (IEC 61034-2)

5.6 การต้านทานการติดไฟ (Fire Resistance)

สายไฟฟ้าที่ทนต่อการติดไฟไม่ก่อให้เกิดการลุกลามของไฟ และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ปกติขณะเกิดการลุกไหม้ของสายอยู่

มาตรฐานการทดสอบ

- **มาตรฐาน IEC 60331**

ทดสอบโดยการต่อสายไฟฟ้าความยาว 1200 มม. เข้ากับชุดทดสอบและจ่ายกระแสไฟฟ้าที่แรงดันพิกัด ให้เปลวไฟที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 90 นาที โดยสายไฟฟ้าจะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ปกติ และต้องไม่เกิดการบกพร่องด้านระบบการจ่ายแรงดันไฟฟ้าตลอดระยะเวลาของการทดสอบ หรือฟิวส์ 2 A ต้องไม่ขาด

- **มาตรฐาน BS 6387**

มาตรฐานนี้ระบุถึงคุณสมบัติที่ต้องการของสายไฟฟ้าที่สามารถจะจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ และจะต้องไม่เกิดการลัดวงจร ตลอดระยะเวลาการทดสอบ การทดสอบการทนไฟแบ่งเป็น 3 แบบ 8 ประเภท กำหนดเครื่องหมายด้วยตัวอักษรแบ่งตามคุณสมบัติการทนไฟ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 อุณหภูมิการทดสอบและเครื่องหมาย

การทดสอบ		เครื่องหมาย
การทนไฟ	650 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	A
	750 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	B
	950 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	C
	950 °C เป็นเวลา 20 นาที	S
การทนไฟและน้ำ	650 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้น พ่นน้ำ และทำการทดสอบ 650 °C เป็นเวลา 15 นาที	W
การทนไฟ และทนแรงกระแทก	650 °C เป็นเวลา 15 นาที โดยมีแรงกระแทก	X
	750 °C เป็นเวลา 15 นาที โดยมีแรงกระแทก	Y
	950 °C เป็นเวลา 15 นาที โดยมีแรงกระแทก	Z

BS 6387 Cat. C

รูปที่ 5.4 การทดสอบ การต้านทานการติดไฟ (BS 6387)

BS 6387 Cat. W

BS 6387 Cat. Z

รูปที่ 5.4 การทดสอบ การต้านทานการติดไฟ (BS 6387) (ต่อ)

5.7 สายทนไฟ (Fire Performance Cables)

สายทนไฟอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. สายควันน้อย ไร้ฮาโลเจน (Low Smoke Halogen Free Cable)
2. สายต้านทานการติดไฟ (Fire Resistant Cable)

5.7.1 สาย Low Smoke และ Halogen Free

มีคุณสมบัติ 3 ประการคือ

- ต้านทานการลุกไหม้
- การปล่อยก๊าซกรด
- การปล่อยควัน

5.7.2 สาย Fire Resistant

สายประเภทนี้จะมี Mica ห่อหุ้มตัวนำ มีคุณสมบัติ 4 ประการคือ

- ต้านทานการลุกไหม้
- การปล่อยก๊าซกรด
- การปล่อยควัน
- ต้านทานการติดไฟ

5.8 สายทนไฟตามมาตรฐาน วสท.

ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า วสท. พ.ศ. 2556 มีหลายบทที่เกี่ยวกับสายทนไฟ ได้แก่

บทที่ 11 มาตรฐานการทนไฟของสายไฟฟ้า

บทที่ 12 วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต

ส่วนการบังคับใช้อยู่ที่

บทที่ 8 สถานที่เฉพาะ

บทที่ 9 อาคารชุด อาคารสูงหรือ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ

บทที่ 13 อาคารเพื่อการสาธารณะใต้ผิวดิน

5.8.1 บทที่ 11 มาตรฐานการทนไฟของสายไฟฟ้า

1. คุณสมบัติสายทนไฟ

มีคุณสมบัติที่สำคัญ 4 ประการ ดังต่อไปนี้

- คุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (Flame Propagation or Flame Retardant)
- คุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (Acids and Corrosive Gas Emission)
- คุณสมบัติการปล่อยควัน (Smoke Emission)
- คุณสมบัติต้านทานการติดไฟ (Fire Resistance)

2. การรับรองผลิตภัณฑ์

สายทนไฟต้องได้รับการรับรองผลิตภัณฑ์ (Certificate) จากสถาบันทดสอบที่เชื่อถือได้ เช่น LPCB, TUV, KEMA, ASTA เป็นต้น

5.8.2 บทที่ 12 วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต

1. วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต

- วงจรไฟฟ้าที่ต้องออกแบบเป็นพิเศษให้ทนต่อความร้อนจากอัคคีภัย และสามารถใช้งานได้ชั่วเวลาหนึ่งเรียกว่าวงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต
- ให้มีวิศวกรไฟฟ้าที่มีใบอนุญาตเป็นผู้ออกแบบและควบคุมการติดตั้ง
- มีการตรวจสอบทุกปี

2. ขอบเขต

- ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ต้องการการใช้งานได้อย่างดีและต่อเนื่องในภาวะฉุกเฉิน เช่น
  1) ระบบจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน
  2) ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย
  3) ระบบแสงสว่างฉุกเฉิน
  4) ระบบอัดอากาศสำหรับบันไดหนีไฟ
  5) ระบบดูดและระบายควัน
  6) ระบบสูบน้ำและระบบดับเพลิงอัตโนมัติ
  7) ระบบสื่อสารฉุกเฉินสำหรับแจ้งเหตุเพลิงไหม้
  8) ระบบลิฟท์ผจญเพลิง

3. ระบบการเดินสายไฟฟ้า

1) สายไฟฟ้าและอุปกรณ์ต้องสามารถจ่ายไฟฟ้าทำงานได้ในสภาวะที่ถูกเพลิงไหม้ และทนทางกายภาพต่อถูกฉีดน้ำดับเพลิง
2) สายไฟฟ้าที่ เปลือกนอกไม่ใช่โลหะต้องเดินในท่อ RSC หรือ IMC

4. ข้อกำหนดการทนไฟของระบบวงจรช่วยชีวิตต่างๆ

(ตามหนังสือมาตรฐาน วสท. ข้อ 12.8)

1. (12.8.1) สายไฟฟ้าสำหรับ วงจรช่วยชีวิตต้องทนเพลิงไหม้ได้ตาม BS 6387 ระดับชั้น CWZ สำหรับระบบดังต่อไปนี้
   1) ระบบจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน
   2) ระบบอัดอากาศสำหรับบันไดหนีไฟ
   3) ระบบดูดและระบายควัน
   4) ระบบสูบน้ำและระบบดับเพลิงอัตโนมัติ
   5) ระบบสื่อสารฉุกเฉินสำหรับแจ้งเหตุเพลิงไหม้
   6) ระบบลิฟต์ผจญเพลิง
2. (12.8.2) สายไฟฟ้าสำหรับวงจรช่วยชีวิตต้องทนเพลิงไหม้ได้ตาม BS 6387 ระดับชั้น AWX หรือผ่านมาตรฐาน IEC 60331 พร้อมทั้งมีคุณสมบัติ การปล่อยก๊าซกรดตามมาตรฐาน IEC 60754 - 2 และมีคุณสมบัติการปล่อยควันตามมาตรฐาน IEC 61034 - 2 ซึ่งได้แก่ระบบดังต่อไปนี้
   1) ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย
   2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน

5.8.3 บทที่ 8 สถานที่เฉพาะ

1. โรงมหรสพ (ข้อ 8.1)

สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าระบบแรงต่ำ ในส่วนภายในที่ผู้นั่งชมการแสดง ห้องควบคุม เวที ช่องทางเดิน บันได ทางหนีไฟ ต้องเป็นสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน และมีคุณสมบัติ ดังนี้

- คุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (Flame Propagation or Flame Retardant) Cat. C

- คุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (Acids Gas Emission)
- คุณสมบัติการปล่อยควัน (Smoke Emission)

สายไฟฟ้าของวงจรช่วยชีวิต ต้องเป็นสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน ตามที่กำหนดในข้อ 12.8

2. สถานบริการ (ข้อ 8.3)

ทั่วไป

สถานบริการ หมายถึง อาคารหรือส่วนใดของอาคารที่ใช้ประกอบกิจการเป็นสถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ และอาคารที่เป็นไปตามที่กำหนดในกฎกระทรวง เรื่องกำหนดประเภท และระบบความปลอดภัยของอาคารที่ใช้เพื่อประกอบกิจการเป็นสถานบริการ พ.ศ. 2555 ซึ่งออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าระบบแรงต่ำ ในพื้นที่บริการ ต้องเป็นสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน และมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ข้อ 11.2.1 Cat. C
- ข้อ 11.2.2
- ข้อ 11.2.3

สายไฟฟ้าของวงจรช่วยชีวิต ต้องเป็นสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน ตามที่กำหนดในข้อ 12.8

3. โรงแรม (ข้อ 8.4)

สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าระบบแรงต่ำ ต้องเป็นสายทองแดงหุ้มฉนวน PVC ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก.11-2553 หรือสายอื่นที่มีคุณสมบัติไม่ต่ำกว่า

สายไฟฟ้าของวงจรช่วยชีวิต ต้องเป็นไปตามกำหนดในข้อ 12.8

5.8.4 บทที่ 9 อาคารชุด อาคารสูง หรือ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ

สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าระบบแรงต่ำ ต้องเป็นสายทองแดงหุ้มฉนวน PVC ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก.11-2553 หรือสายอื่นที่มีคุณสมบัติไม่ต่ำกว่า

สายไฟฟ้าของวงจรช่วยชีวิต ต้องเป็นไปตามกำหนดในข้อ 12.8

5.8.5 บทที่ 13 อาคารเพื่อการสาธารณะใต้ผิวดิน

ทั่วไป

อาคารเพื่อการสาธารณะใต้ผิวดิน หมายถึง

- อาคารหรือโครงสร้างใดๆ ที่อยู่ใต้ผิวดิน
- ชั้นใต้ดินของอาคารทั่วไป
- อาคารจอดรถใต้ผิวดิน
- สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
- อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
- อุโมงค์ใต้ดินที่ใช้สำหรับการจราจร

ขอบเขต

วงจรไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ประเภท

ประเภทที่ 1 ระบบที่ต้องการความปลอดภัยปกติ
(Normal Safety Requirement System)

ประเภทที่ 2 ระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง
(High Safety Requirement System)

ประเภทที่ 3 ระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูงมาก
(Very High Safety Requirement System)

1) ประเภทที่ 1 ระบบที่ต้องการความปลอดภัยปกติ (ข้อ 13.2.1) (Normal Safety Requirement System)

1. ระบบแสงสว่างทั่วไป
2. ระบบไฟฟ้ากำลัง นอกเหนือจากข้อ 13.2.2 และ13.2.3
3. ระบบปั๊มน้ำขึ้นถังบนหลังคา
4. ระบบปรับอากาศ
5. ระบบระบายน้ำโดยทั่วไป

2) ประเภทที่ 2 ระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง (ข้อ 13.2.2) (High Safety Requirement System)

1. ระบบปรับอากาศเฉพาะส่วนที่เกี่ยวกับ การจ่ายลม
2. ระบบระบายน้ำฉุกเฉิน
3. ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน
4. ระบบสัญญาณเตือนภัยต่างๆ
5. ระบบควบคุม Computer
6. ระบบทางหนีไฟ (Escape Way)

3) ประเภทที่ 3 ระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูงมาก (ข้อ 13.2.3) (Very High Safety Requirement System)

1. ระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินทั้งในอาคาร และใต้ผิวดินและอุโมงค์ทางวิ่ง
2. ระบบอัดอากาศสำหรับบันไดหนีไฟ
3. ระบบดูดและระบายควัน
4. ระบบสื่อสารฉุกเฉิน
5. ระบบดูดและระบายควันทั้งในอาคารใต้ผิวดินและอุโมงค์ทางวิ่ง
6. ระบบเครื่องสูบน้ำดับเพลิงและการดับเพลิงทั้งหลาย

1) ระบบที่ต้องการความปลอดภัยปกติ (ข้อ 13.3.2.1)

1. ฉนวนสายไฟฟ้าต้องทนอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 90 °C
2. ฉนวนหรือวัสดุหุ้มสายไฟฟ้าต้องเป็นชนิด Flame Retardant มีคุณสมบัติต้านทานการลุกไหม้ตามมาตรฐาน IEC 60332 -1 หรือ IEC 60332 - 3 มีคุณสมบัติการปล่อยก๊าซตามมาตรฐาน IEC 60754 - 2 หรือมีคุณสมบัติการปล่อยควันตามมาตรฐาน IEC 61034 - 2
3. สายไฟฟ้าที่เปลือกนอก ไม่ใช่โลหะ จะต้องเดินในท่อแบบ RSC, IMC
4. สายไฟฟ้าต้องต่อเข้าเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องปิดผนึกที่ถาวร

2) ระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง (ข้อ 13.3.2.2)

นอกเหนือจากข้อกำหนดในระบบที่ต้องการความปลอดภัยปกติแล้ว สายไฟฟ้าต้องเป็นไปตาม BS 6387 ในระดับ AWX

3) ระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูงมาก (ข้อ 13.3.2.3)

นอกเหนือจากข้อกำหนดใน ระบบที่ต้องการความปลอดภัยปกติแล้ว สายไฟฟ้าต้องเป็นไปตาม BS 6387 ในระดับ CWZ หรือใช้ MI Cable

การแยกระบบการเดินสาย

1) ห้ามเดินสายร่วมกับระบบอื่น

2) สายเคเบิลหลายแกนห้ามใช้ร่วมกัน

เมนสวิตซ์และสวิตซ์ต่างๆ

1) ระบบความปลอดภัยปกติ และระบบความปลอดภัยสูง ตามกำหนดบทที่ 3
2) ระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูงมาก ตามบทที่ 3 และ บทที่ 12 ข้อ 12.4
3) กรณีเมนสวิตซ์ และสวิตซ์ต่างๆ ติดตั้งอยู่ที่ชั้นใต้ผิวดิน ฉนวนหรือวัสดุหุ้มสายไฟฟ้าต้องเป็นชนิด Flame Retardant มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ตามมาตรฐาน IEC 60332 - 1 หรือ IEC 60332 - 3 มีคุณสมบัติการปล่อยก๊าซ ตามมาตรฐาน IEC 60754 - 2 มีคุณสมบัติการปล่อยควัน ตามมาตรฐาน IEC 61034 - 2 สำหรับ วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต ต้องเป็นไปตามบทที่ 12

5.9 พิกัดกระแสของสายทนไฟ

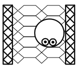
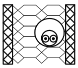
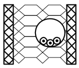
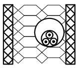
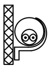
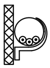
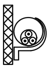
สายทนไฟ ฉนวนมีพิกัดอุณหภูมิ 90 °C

ดังนั้นพิกัดกระแสของสายทนไฟที่ติดตั้งในท่อร้อยสาย มีดังนี้

กลุ่มการติดตั้งที่ 2 (ร้อยท่อในอากาศ)	ตารางที่ 5 - 27
กลุ่มการติดตั้งที่ 5 (ร้อยท่อฝังดิน)	ตารางที่ 5 - 29

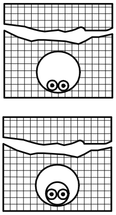
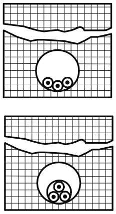
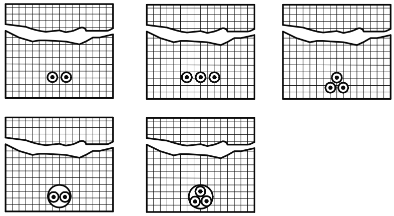
ตารางที่ 5-27

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินร้อยในท่อในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3		2		3	
ลักษณะตัวนำกระแส	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น							
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)							
1	13	13	12	12	15	15	14	14
1.5	17	17	15	15	21	20	18	18
2.5	24	23	21	20	28	27	25	24
4	32	30	28	27	38	36	34	32
6	41	38	36	35	49	46	44	40
10	56	52	49	46	68	63	60	55
16	74	69	66	62	91	83	80	73
25	96	90	86	81	121	108	106	96
35	119	110	106	99	149	133	131	116
50	144	132	128	118	180	159	159	140
70	182	167	163	149	230	201	202	177
95	219	200	197	179	278	241	245	212
120	253	230	227	207	322	278	284	244
150	289	264	259	236	358	304	311	273
185	329	299	295	268	409	349	349	309
240	386	351	346	315	480	418	410	362
300	442	402	396	360	549	484	468	414
400	-	-	-	-	622	-	531	-
500	-	-	-	-	713	-	606	-

ตารางที่ 5-29

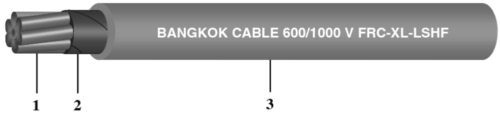
ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 30 °C ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 5		กลุ่มที่ 6
จำนวนตัวนำกระแส	2	3	ไม่เกิน 3
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว / หลายแกน	แกนเดียว / หลายแกน	แกนเดียว / หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง			
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	IEC 60502-1		
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)		
1.5	25	22	33
2.5	33	29	43
4	43	38	55
6	54	47	70
10	71	63	92
16	94	83	119
25	124	109	152
35	150	132	184
50	180	159	217
70	223	196	266
95	271	238	318
120	313	275	362
150	355	312	406
185	406	356	459
240	477	418	533
300	543	475	601
400	625	545	684
500	717	623	777

5.10 สายทนไฟของ BCC

600/1000 V FRC-XL-LSHF (1 CORE)

FIRE RESISTANT WITH LOW SMOKE & HALOGEN FREE CABLES (NON-SHEATHED)



Reference standard

Construction : BS EN 50525-3-41

Standards Achieved :

Circuit integrity	: BS 6387 Categories C, W, Z
	: IEC 60331-21
Flame propagation	: IEC 60332-1-2
	: IEC 60332-3-24 Category C
Acid gas emission	: IEC 60754-2
Smoke emission	: IEC 61034-2

Construction :

1. Conductor : Concentric stranded or Compacted stranded copper wires
2. Fire barrier tape : Mica tape
3. Insulation : Cross-linked low smoke & halogen free compound (XL-LSHF), Orange colour

Classification :

Maximum conductor temperature	: 90°C
Maximum circuit voltage	: 1,000 V
AC test voltage	: 3,500 V

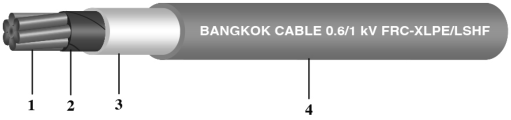
Application :

Preferably used for installation into trunking and conduit which provide flame retardant, low smoke & corrosive gases properties and maintain circuit integrity in case of fire.

No. of core	Conductor Cross-sectional area mm²	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	Thickness of insulation mm (Nominal)	Overall diameter mm (Approx.)	Conductor resistance at 20°C Ω/km (Max.)	Insulation resistance at 90°C MΩ.km (Min.)	Current rating in free air at 40°C ambient A	Cable weight kg/km (Approx.)	Standard length m
1	1.5	7	1.53	0.7	4.0	12.1	0.010	24	25	500
1	2.5	7	1.98	0.8	4.5	7.41	0.009	33	40	500
1	4	7	2.49	0.8	5.0	4.61	0.0077	45	55	500
1	6	7	3.09	0.8	5.5	3.08	0.0065	57	75	300
1	10	6	3.72	1.0	6.5	1.83	0.0065	79	120	300
1	16	6	4.69	1.0	7.5	1.15	0.0050	105	180	300
1	25	6	5.90	1.2	9.5	0.727	0.0050	140	280	300
1	35	6	6.95	1.2	10.5	0.524	0.0043	175	375	300
1	50	6	8.33	1.4	12.5	0.387	0.0043	215	510	300
1	70	12	9.73	1.4	13.5	0.268	0.0035	275	715	300
1	95	15	11.43	1.6	16.0	0.193	0.0035	340	985	300
1	120	18	12.95	1.6	17.5	0.153	0.0032	400	1,230	300
1	150	18	14.27	1.8	19.5	0.124	0.0032	460	1,525	300
1	185	30	15.98	2.0	21.5	0.0991	0.0032	530	1,900	300
1	240	34	18.47	2.2	24.5	0.0754	0.0032	640	2,490	300
1	300	34	20.68	2.4	27.0	0.0601	0.0030	745	3,115	300
1	400	53	23.39	2.6	30.0	0.0470	0.0028	870	3,965	300

0.6/1 kV FRC-XLPE/LSHF (1 CORE)

FIRE RESISTANT WITH LOW SMOKE & HALOGEN FREE CABLES



Standards Achieved :

Construction : IEC 60228, IEC 60502-1
Circuit integrity : BS 6387 Categories C, W, Z
: IEC 60331-21
Flame propagation : IEC 60332-1-2
: IEC 60332-3-24 Category C
Acid gas emission : IEC 60754-2
Smoke emission : IEC 61034-2

Construction :

1. Conductor : Concentric stranded or Compacted stranded copper wires
2. Fire barrier tape : Mica tape
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE), Natural colour
4. Sheath : Low smoke & halogen free compound (LSHF), Orange colour

Classification :

Maximum conductor temperature : 90°C
Maximum circuit voltage : 1,000 V
AC test voltage : 3,500 V

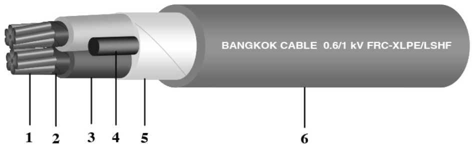
Application :

Preferably used for installation into conduit and surface wiring which provide flame retardant, low smoke & corrosive gases properties and maintain circuit integrity in case of fire.

No. of core	Conductor			Thickness of insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	Conductor resistance at 20°C	Current rating in free air at 40°C ambient	Cable weight	Standard length
	Cross-sectional area	No. of wires	Diameter							
	mm^2		mm	mm	mm	mm	Ω/km	A	kg/km	m
		(Min.)	(Approx.)	(Nominal)	(Nominal)	(Approx.)	(Max.)		(Approx.)	
1	1.5	7	1.53	0.7	1.4	7.0	12.1	27	60	500
1	2.5	7	1.98	0.7	1.4	7.5	7.41	38	70	500
1	4	7	2.49	0.7	1.4	8.0	4.61	51	90	500
1	6	7	3.09	0.7	1.4	8.5	3.08	66	110	500
1	10	6	3.72	0.7	1.4	9.5	1.83	92	160	500
1	16	6	4.69	0.7	1.4	10.0	1.15	124	220	500
1	25	6	5.90	0.9	1.4	12.0	0.727	166	320	500
1	35	6	6.95	0.9	1.4	13.0	0.524	206	420	500
1	50	6	8.33	1.0	1.4	14.5	0.387	259	550	500
1	70	12	9.73	1.1	1.4	16.0	0.268	321	760	500
1	95	15	11.43	1.1	1.5	18.0	0.193	391	1,030	500
1	120	18	12.95	1.2	1.5	20.0	0.153	455	1,280	500
1	150	18	14.27	1.4	1.6	22.0	0.124	525	1,580	500
1	185	30	15.98	1.6	1.6	24.0	0.0991	602	1,950	500
1	240	34	18.47	1.7	1.7	27.0	0.0754	711	2,540	500
1	300	34	20.68	1.8	1.8	29.5	0.0601	821	3,160	500
1	400	53	23.39	2.0	1.9	33.0	0.0470	988	4,010	500

0.6/1 kV FRC-XLPE/LSHF (2 CORES)

FIRE RESISTANT WITH LOW SMOKE & HALOGEN FREE CABLES



Standards Achieved :

Construction	: IEC 60228, IEC 60502-1
Circuit integrity	: BS 6387 Categories C, W, Z
	: IEC 60331-21
Flame propagation	: IEC 60332-1-2
	: IEC 60332-3-24 Category C
Acid gas emission	: IEC 60754-2
Smoke emission	: IEC 61034-2

Construction :

1. Conductor	: Concentric stranded or Compacted stranded copper wires
2. Fire barrier tape	: Mica tape
3. Insulation	: Cross-linked polyethylene (XLPE)
	Blue, Brown colour or requested colour
4. Filler	: LSHF rod
5. Binding tape	: Fiberglass tape
6. Sheath	: Low smoke & halogen free compound (LSHF), Orange colour

Classification :

Maximum conductor temperature	: 90°C
Maximum circuit voltage	: 1,000 V
AC test voltage	: 3,500 V

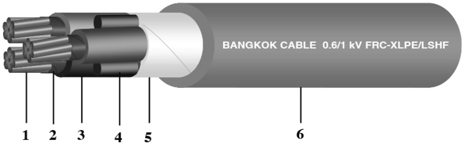
Application :

Preferably used for installation into conduit and surface wiring which provide flame retardant, low smoke & corrosive gases properties and maintain circuit integrity in case of fire.

No. of core	Conductor			Thickness of insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	Conductor resistance at 20°C	Current rating in free air at 40°C ambient	Cable weight	Standard length
	Cross-sectional area	No. of wires	Diameter							
	mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	A	kg/km (Approx.)	m
2	1.5	7	1.53	0.7	1.8	13.0	12.1	24	160	500
2	2.5	7	1.98	0.7	1.8	13.5	7.41	33	190	500
2	4	7	2.49	0.7	1.8	15.0	4.61	44	250	500
2	6	7	3.09	0.7	1.8	16.0	3.08	57	310	500
2	10	6	3.72	0.7	1.8	17.0	1.83	78	410	500
2	16	6	4.69	0.7	1.8	19.0	1.15	105	560	500
2	25	6	5.90	0.9	1.8	22.5	0.727	135	820	500
2	35	6	6.95	0.9	1.8	25.0	0.524	168	1,070	500
2	50	6	8.33	1.0	1.8	28.0	0.387	212	1,400	500
2	70	12	9.73	1.1	1.8	31.5	0.268	263	1,900	500
2	95	15	11.43	1.1	1.9	35.0	0.193	321	2,540	500
2	120	18	12.95	1.2	2.0	38.5	0.153	373	3,160	500
2	150	18	14.27	1.4	2.1	42.5	0.124	431	3,880	400
2	185	30	15.98	1.6	2.3	47.5	0.0991	493	4,840	400
2	240	34	18.47	1.7	2.5	53.0	0.0754	584	6,260	300
2	300	34	20.68	1.8	2.6	58.5	0.0601	674	7,730	250
2	400	53	23.39	2.0	2.9	65.5	0.0470	812	9,840	200

0.6/1 kV FRC-XLPE/LSHF (3 CORES)

FIRE RESISTANT WITH LOW SMOKE & HALOGEN FREE CABLES



Standards Achieved :

Construction	: IEC 60228, IEC 60502-1
Circuit integrity	: BS 6387 Categories C, W, Z
	: IEC 60331-21
Flame propagation	: IEC 60332-1-2
	: IEC 60332-3-24 Category C
Acid gas emission	: IEC 60754-2
Smoke emission	: IEC 61034-2

Construction :

1. Conductor	: Concentric stranded or Compacted stranded copper wires
2. Fire barrier tape	: Mica tape
3. Insulation	: Cross-linked polyethylene (XLPE) Brown, Black, Grey colour or requested colour
4. Filler	: LSHF rod
5. Binding tape	: Fiberglass tape
6. Sheath	: Low smoke & halogen free compound (LSHF), Orange colour

Classification :

Maximum conductor temperature	: 90°C
Maximum circuit voltage	: 1,000 V
AC test voltage	: 3,500 V

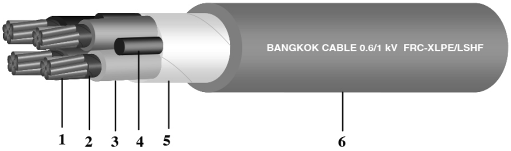
Application :

Preferably used for installation into conduit and surface wiring which provide flame retardant, low smoke & corrosive gases properties and maintain circuit integrity in case of fire.

No. of core	Conductor			Thickness of insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	Conductor resistance at 20°C	Current rating in free air at 40°C ambient	Cable weight	Standard length
	Cross-sectional area	No. of wires	Diameter							
	mm^2		mm	mm	mm	mm	Ω/km	A	kg/km	m
		(Min.)	(Approx.)	(Nominal)	(Nominal)	(Approx.)	(Max.)		(Approx.)	
3	1.5	7	1.53	0.7	1.8	13.5	12.1	21	190	500
3	2.5	7	1.98	0.7	1.8	14.5	7.41	29	240	500
3	4	7	2.49	0.7	1.8	15.5	4.61	38	300	500
3	6	7	3.09	0.7	1.8	17.0	3.08	49	380	500
3	10	6	3.72	0.7	1.8	18.0	1.83	68	520	500
3	16	6	4.69	0.7	1.8	20.0	1.15	91	740	500
3	25	6	5.90	0.9	1.8	24.0	0.727	116	1,100	500
3	35	6	6.95	0.9	1.8	26.5	0.524	144	1,430	500
3	50	6	8.33	1.0	1.8	30.0	0.387	180	1,880	500
3	70	12	9.73	1.1	1.9	33.5	0.268	224	2,600	500
3	95	15	11.43	1.1	2.0	37.5	0.193	271	3,490	500
3	120	18	12.95	1.2	2.1	41.5	0.153	315	4,350	500
3	150	18	14.27	1.4	2.2	45.5	0.124	363	5,340	400
3	185	30	15.98	1.6	2.4	51.0	0.0991	415	6,660	400
3	240	34	18.47	1.7	2.6	57.0	0.0754	490	8,650	250
3	300	34	20.68	1.8	2.7	62.5	0.0601	565	10,710	200
3	400	53	23.39	2.0	3.0	70.0	0.0470	678	13,620	150

0.6/1 kV FRC-XLPE/LSHF (4 CORES)

FIRE RESISTANT WITH LOW SMOKE & HALOGEN FREE CABLES



Standards Achieved :

Construction	: IEC 60228, IEC 60502-1
Circuit integrity	: BS 6387 Categories C, W, Z
	: IEC 60331-21
Flame propagation	: IEC 60332-1-2
	: IEC 60332-3-24 Category C
Acid gas emission	: IEC 60754-2
Smoke emission	: IEC 61034-2

Construction :

1. Conductor	: Concentric stranded or Compacted stranded copper wires
2. Fire barrier tape	: Mica tape
3. Insulation	: Cross-linked polyethylene (XLPE) Blue, Brown, Black, Grey colour or requested colour
4. Filler	: LSHF rod
5. Binding tape	: Fiberglass tape
6. Sheath	: Low smoke & halogen free compound (LSHF), Orange colour

Classification :

Maximum conductor temperature	: 90°C
Maximum circuit voltage	: 1,000 V
AC test voltage	: 3,500 V

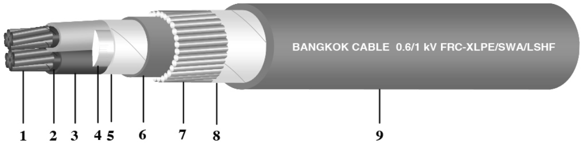
Application :

Preferably used for installation into conduit and surface wiring which provide flame retardant, low smoke & corrosive gases properties and maintain circuit integrity in case of fire.

No. of core	Conductor			Thickness of insulation	Thickness of sheath	Overall diameter	Conductor resistance at 20°C	Current rating in free air at 40°C ambient	Cable weight	Standard length
	Cross-sectional area	No. of wires	Diameter							
	mm^2	(Min.)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	A	kg/km (Approx.)	m
4	1.5	7	1.53	0.7	1.8	14.5	12.1	21	230	500
4	2.5	7	1.98	0.7	1.8	15.5	7.41	29	290	500
4	4	7	2.49	0.7	1.8	17.0	4.61	38	370	500
4	6	7	3.09	0.7	1.8	18.5	3.08	49	480	500
4	10	6	3.72	0.7	1.8	20.0	1.83	68	660	500
4	16	6	4.69	0.7	1.8	22.0	1.15	91	930	500
4	25	6	5.90	0.9	1.8	26.5	0.727	116	1,400	500
4	35	6	6.95	0.9	1.8	29.0	0.524	144	1,840	500
4	50	6	8.33	1.0	1.8	33.0	0.387	180	2,420	500
4	70	12	9.73	1.1	2.0	37.5	0.268	224	3,380	500
4	95	15	11.43	1.1	2.1	41.5	0.193	271	4,540	400
4	120	18	12.95	1.2	2.3	46.5	0.153	315	5,680	400
4	150	18	14.27	1.4	2.4	51.0	0.124	363	6,980	300
4	185	30	15.98	1.6	2.6	56.5	0.0991	415	8,710	250
4	240	34	18.47	1.7	2.8	63.5	0.0754	490	11,310	200
4	300	34	20.68	1.8	3.0	70.0	0.0601	565	14,040	150
4	400	53	23.39	2.0	3.3	78.5	0.0470	678	17,850	100

0.6/1 kV FRC-XLPE/SWA/LSHF (2 CORES)

FIRE RESISTANT WITH LOW SMOKE & HALOGEN FREE CABLES WITH ARMOUR



Standards Achieved :

Construction : IEC 60228, IEC 60502-1
Circuit integrity : BS 6387 Categories C, W, Z
: IEC 60331-21
Flame propagation : IEC 60332-1-2
: IEC 60332-3-24 Category C
Acid gas emission : IEC 60754-1
: IEC 60754-2
Smoke emission : IEC 61034-2

Construction :

1. Conductor : Concentric stranded or Compacted stranded copper wires
2. Fire barrier tape : Mica tape
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (XLPE)
   Blue, Brown colour or requested colour
4. Filler : LSHF rod and/or FR-filler yarn
5. Binding tape : Polyester tape
6. Inner sheath : Low smoke & halogen free compound (LSHF)
7. Armour : Galvanized steel wires
8. Binding tape : Polyester tape
9. Outer sheath : Low smoke & halogen free compound (LSHF), Orange colour

Classification :

Maximum conductor temperature : 90°C
Maximum circuit voltage : 1,000 V
AC test voltage : 3,500 V

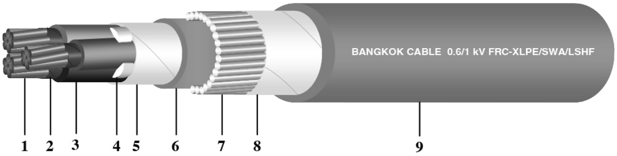
Application :

Preferably used for installation into conduit and open tray wiring which provide flame retardant, low smoke & corrosive gases properties and maintain circuit integrity in case of fire.

No. of core	Conductor			Thickness of insulation	Thickness of inner sheath	Diameter of wire armour	Thickness of outer sheath	Overall diameter	Conductor resistance at 20°C	Current rating in free air at 40°C ambient	Cable weight	Standard length
	Cross-sectional area mm^2	No. of wires (Min.)	Diameter mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	mm (Nominal)	mm (Nominal)	mm (Approx.)	Ω/km (Max.)	A	kg/km (Approx.)	m
2	1.5	7	1.53	0.7	1.0	0.8	1.8	17.5	12.1	26	420	500
2	2.5	7	1.98	0.7	1.0	0.8	1.8	18.5	7.41	35	480	500
2	4	7	2.49	0.7	1.0	1.25	1.8	20.5	4.61	46	680	500
2	6	7	3.09	0.7	1.0	1.25	1.8	21.5	3.08	59	770	500
2	10	6	3.72	0.7	1.0	1.25	1.8	23.0	1.83	80	910	500
2	16	6	4.69	0.7	1.0	1.25	1.8	25.0	1.15	105	1,120	500
2	25	6	5.90	0.9	1.0	1.6	1.8	29.0	0.727	140	1,630	500
2	35	6	6.95	0.9	1.0	1.6	1.8	31.5	0.524	170	1,960	500
2	50	6	8.33	1.0	1.0	1.6	1.9	35.0	0.387	210	2,430	500
2	70	12	9.73	1.1	1.0	2.0	2.1	39.5	0.268	260	3,340	500
2	95	15	11.43	1.1	1.2	2.0	2.2	43.5	0.193	320	4,190	400
2	120	18	12.95	1.2	1.2	2.0	2.3	47.0	0.153	370	4,970	400
2	150	18	14.27	1.4	1.2	2.5	2.4	52.0	0.124	420	6,270	300
2	185	30	15.98	1.6	1.4	2.5	2.6	57.0	0.0991	480	7,550	300
2	240	34	18.47	1.7	1.4	2.5	2.8	63.0	0.0754	560	9,300	200
2	300	34	20.68	1.8	1.6	2.5	2.9	68.5	0.0601	635	11,150	150
2	400	53	23.39	2.0	1.6	2.5	3.2	75.5	0.0470	725	13,650	100

0.6/1 kV FRC-XLPE/SWA/LSHF (3 CORES)

FIRE RESISTANT WITH LOW SMOKE & HALOGEN FREE CABLES WITH ARMOUR



Standards Achieved :

Construction	: IEC 60228, IEC 60502-1
Circuit integrity	: BS 6387 Categories C, W, Z
	: IEC 60331-21
Flame propagation	: IEC 60332-1-2
	: IEC 60332-3-24 Category C
Acid gas emission	: IEC 60754-1
	: IEC 60754-2
Smoke emission	: IEC 61034-2

Construction :

1. Conductor	: Concentric stranded or Compacted stranded copper wires
2. Fire barrier tape	: Mica tape
3. Insulation	: Cross-linked polyethylene (XLPE) Brown, Black, Grey colour or requested colour
4. Filler	: LSHF rod and/or FR-filler yarn
5. Binding tape	: Polyester tape
6. Inner sheath	: Low smoke & halogen free compound (LSHF)
7. Armour	: Galvanized steel wires
8. Binding tape	: Polyester tape
9. Outer sheath	: Low smoke & halogen free compound (LSHF), Orange colour

Classification :

Maximum conductor temperature	: 90°C
Maximum circuit voltage	: 1,000 V
AC test voltage	: 3,500 V

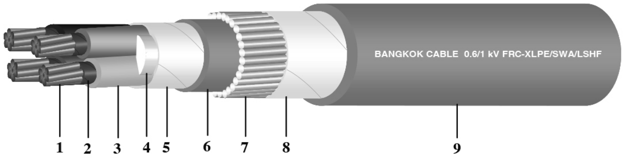
Application :

Preferably used for installation into conduit and open tray wiring which provide flame retardant, low smoke & corrosive gases properties and maintain circuit integrity in case of fire.

No. of core	Conductor Cross-sectional area mm^2	Conductor No. of wires (Min.)	Conductor Diameter mm (Approx.)	Thickness of insulation mm (Nominal)	Thickness of inner sheath mm (Approx.)	Diameter of wire armour mm (Nominal)	Thickness of outer sheath mm (Nominal)	Overall diameter mm (Approx.)	Conductor resistance at 20°C Ω/km (Max.)	Current rating in free air at 40°C ambient A	Cable weight kg/km (Approx.)	Standard length m
3	1.5	7	1.53	0.7	1.0	0.8	1.8	18.5	12.1	22	460	500
3	2.5	7	1.98	0.7	1.0	0.8	1.8	19.5	7.41	29	530	500
3	4	7	2.49	0.7	1.0	1.25	1.8	21.5	4.61	39	750	500
3	6	7	3.09	0.7	1.0	1.25	1.8	22.5	3.08	50	870	500
3	10	6	3.72	0.7	1.0	1.25	1.8	24.0	1.83	67	1,050	500
3	16	6	4.69	0.7	1.0	1.6	1.8	27.0	1.15	89	1,470	500
3	25	6	5.90	0.9	1.0	1.6	1.8	30.5	0.727	120	1,960	500
3	35	6	6.95	0.9	1.0	1.6	1.9	33.0	0.524	145	2,410	500
3	50	6	8.33	1.0	1.0	1.6	2.0	37.0	0.387	175	2,990	500
3	70	12	9.73	1.1	1.2	2.0	2.1	42.0	0.268	220	4,170	500
3	95	15	11.43	1.1	1.2	2.0	2.2	46.0	0.193	275	5,210	400
3	120	18	12.95	1.2	1.2	2.5	2.4	51.0	0.153	315	6,700	400
3	150	18	14.27	1.4	1.4	2.5	2.5	55.5	0.124	360	7,960	300
3	185	30	15.98	1.6	1.4	2.5	2.7	60.5	0.0991	410	9,570	250
3	240	34	18.47	1.7	1.6	2.5	2.9	67.5	0.0754	480	11,980	200
3	300	34	20.68	1.8	1.6	2.5	3.1	73.5	0.0601	550	14,410	150
3	400	53	23.39	2.0	1.6	3.15	3.4	82.0	0.0470	625	18,620	100

0.6/1 kV FRC-XLPE/SWA/LSHF (4 CORES)

FIRE RESISTANT WITH LOW SMOKE & HALOGEN FREE CABLES WITH ARMOUR



Standards Achieved :

Construction	: IEC 60228, IEC 60502-1
Circuit integrity	: BS 6387 Categories C, W, Z
	: IEC 60331-21
Flame propagation	: IEC 60332-1-2
	: IEC 60332-3-24 Category C
Acid gas emission	: IEC 60754-1
	: IEC 60754-2
Smoke emission	: IEC 61034-2

Construction :

1. Conductor	: Concentric stranded or Compacted stranded copper wires
2. Fire barrier tape	: Mica tape
3. Insulation	: Cross-linked polyethylene (XLPE) Blue, Brown, Black, Grey colour or requested colour
4. Filler	: LSHF rod and/or FR-filler yarn
5. Binding tape	: Polyester tape
6. Inner sheath	: Low smoke & halogen free compound (LSHF)
7. Armour	: Galvanized steel wires
8. Binding tape	: Polyester tape
9. Outer sheath	: Low smoke & halogen free compound (LSHF), Orange colour

Classification :

Maximum conductor temperature	: 90°C
Maximum circuit voltage	: 1,000 V
AC test voltage	: 3,500 V

Application :

Preferably used for installation into conduit and open tray wiring which provide flame retardant, low smoke & corrosive gases properties and maintain circuit integrity in case of fire.

No. of core	Conductor Cross-sectional area			Thickness of insulation	Thickness of inner sheath	Diameter of wire armour	Thickness of outer sheath	Overall diameter	Conductor resistance at 20°C	Current rating in free air at 40°C ambient	Cable weight	Standard length
	Cross-sectional area	No. of wires	Diameter									
	mm^2		mm	mm	mm	mm	mm	mm	Ω/km	A	kg/km	m
		(Min.)	(Approx.)	(Nominal)	(Approx.)	(Nominal)	(Nominal)	(Approx.)	(Max.)		(Approx.)	
4	1.5	7	1.53	0.7	1.0	0.8	1.8	19.5	12.1	22	520	500
4	2.5	7	1.98	0.7	1.0	1.25	1.8	21.5	7.41	29	740	500
4	4	7	2.49	0.7	1.0	1.25	1.8	23.0	4.61	39	860	500
4	6	7	3.09	0.7	1.0	1.25	1.8	24.0	3.08	50	1,010	500
4	10	6	3.72	0.7	1.0	1.25	1.8	25.5	1.83	67	1,230	500
4	16	6	4.69	0.7	1.0	1.6	1.8	28.5	1.15	89	1,730	500
4	25	6	5.90	0.9	1.0	1.6	1.8	33.0	0.727	120	2,360	500
4	35	6	6.95	0.9	1.0	1.6	1.9	36.0	0.524	145	2,910	500
4	50	6	8.33	1.0	1.0	2.0	2.1	41.0	0.387	175	3,920	400
4	70	12	9.73	1.1	1.2	2.0	2.2	45.5	0.268	220	5,100	400
4	95	15	11.43	1.1	1.2	2.5	2.4	51.0	0.193	275	6,880	300
4	120	18	12.95	1.2	1.4	2.5	2.6	56.5	0.153	315	8,350	250
4	150	18	14.27	1.4	1.4	2.5	2.7	61.0	0.124	360	9,890	200
4	185	30	15.98	1.6	1.6	2.5	2.9	67.0	0.0991	410	12,040	150
4	240	34	18.47	1.7	1.6	2.5	3.1	74.0	0.0754	480	15,020	100
4	300	34	20.68	1.8	1.6	3.15	3.3	82.0	0.0601	550	18,990	100
4	400	53	23.39	2.0	1.8	3.15	3.6	90.5	0.0470	625	23,470	100

CERTIFICATE ◆ CERTIFICADO ◆ CERTIFICAT ◆ СЕРТИФИКАТ ◆ 認証証書 ◆ CERTIFICATE ◆ ZERTIFIKAT

TÜV SÜD Product Service

CERTIFICATE

No. B 15 12 81496 017

Holder of Certificate: **Bangkok Cable Co., Ltd.**
93 Moo 11 Suksawad Rd.
Naiklongbangplakod, Prasamutchedee
Samutprakarn 10290
THAILAND

Certification Mark: TÜV SÜD

Product: **Fire Resistant Cables**

The product was tested on a voluntary basis and complies with the essential requirements. The certification mark shown above can be affixed on the product. It is not permitted to alter the certification mark in any way. In addition the certification holder must not transfer the certificate to third parties. See also notes overleaf.

Test report no.: 7191125763-EEC15/01 See Attachment 1

Valid until: 2020-12-21

Date, 2016-01-21

(Kim Suah Phua)

Page 1 of 4

CERTIFICATE ◆ CERTIFICADO ◆ CERTIFICAT ◆ СЕРТИФИКАТ ◆ 認証証書 ◆ CERTIFICATE ◆ ZERTIFIKAT

TÜV SÜD Product Service

CERTIFICATE

No. B 15 12 81496 017

Model(s): **FRC-XL-LSHF**

Brand Name: **BANGKOK CABLE**

Parameters:

Voltage	: 600/1000V
Conductor	: Plain annealed copper
Fire-barrier tape	: Mica tape
Insulation	: XL-LSHF
Sizes	: 1C x 1.5mm² to 1C x 400mm²

Tested according to:
BS 6387:1994
IEC 60332-3-24(ed.1.1)
IEC 60332-1-2(ed.1)
IEC 61034-2(ed.3)
IEC 60754-1(ed.3)
IEC 60754-2(ed.2)
IEC 60331-21(ed.1)

Production Facility(ies): 81496

Page 2 of 4

CERTIFICATE

No. B 15 12 81496 019

Holder of Certificate: Bangkok Cable Co., Ltd.
93 Moo 11 Suksawad Rd.
Naiklongbangplakod, Prasamutchedee
Samutprakarn 10290
THAILAND

Certification Mark:

Product: Fire Resistant Cables

The product was tested on a voluntary basis and complies with the essential requirements. The certification mark shown above can be affixed on the product. It is not permitted to alter the certification mark in any way. In addition the certification holder must not transfer the certificate to third parties. See also notes overleaf.

Test report no.: 7191125763-EEC15/02 See Attachment 1

Valid until: 2020-12-21

Date, 2016-01-21

(Kim Suah Phua)

Page 1 of 4

CERTIFICATE

No. B 15 12 81496 019

Model(s): FRC-XLPE/LSHF (Single Core)

Brand Name: BANGKOK CABLE

Parameters:

Voltage	: 0.6/1kV
Conductor	: Plain annealed copper
Fire-barrier tape	: Mica tape
Insulation	: XLPE
Sheath	: LSHF
Sizes	: 1C x 1.5mm² to 1C x 400mm²

Tested according to:
BS 6387:1994
IEC 60502-1(ed.2.1)
IEC 60332-3-24(ed.1.1)
IEC 60332-1-2(ed.1)
IEC 61034-2(ed.3)
IEC 60754-1(ed.3)
IEC 60754-2(ed.2)
IEC 60331-21(ed.1)

Production Facility(ies): 81496

Page 2 of 4

ZERTIFIKAT ◆ CERTIFICATE ◆ 認證證書 ◆ СЕРТИФИКАТ ◆ CERTIFICADO ◆ CERTIFICAT

Product Service

CERTIFICATE

No. B 081496 0023 Rev. 00

Holder of Certificate: **Bangkok Cable Co., Ltd.**
93 Moo 11 Suksawat Rd.
Nai Khlong Bang Pla Kot, Phra Samut Chedi
Samut Prakan 10290
THAILAND

Certification Mark:

Product: **Fire Resistant Cables**

The product was tested on a voluntary basis and complies with the essential requirements. The certification mark shown above can be affixed on the product. It is not permitted to alter the certification mark in any way. In addition, the certification holder must not transfer the certificate to third parties. This certificate is valid until the listed date, unless it is cancelled earlier. All applicable requirements of the testing and certification regulations of TÜV SÜD Group have to be complied. For details see: www.tuvsud.com/ps-cert

Test report no.: 7191248706-EEC20/11-TR

Valid until: 2026-02-23

Date, 2021-03-01

(WEI LIANG TAN)

Page 1 of 3
TÜV SÜD Product Service GmbH • Certification Body • Ridlerstraße 65 • 80339 Munich • Germany

TÜV®

ZERTIFIKAT ◆ CERTIFICATE ◆ 認證證書 ◆ СЕРТИФИКАТ ◆ CERTIFICADO ◆ CERTIFICAT

Product Service

CERTIFICATE

No. B 081496 0023 Rev. 00

Model(s): **FRC-XLPE/LSHF (Multi cores)**

Brand Name: **BANGKOK CABLE**

Parameters:

Type : CU/MICA/XLPE/LSHF Cable
Size : 2C x 1.5 mm^2 to 4C x 400 mm^2
Voltage : 0.6/1 kV
Conductor : Stranded circular plain copper wires (class 2)
Fire barrier : Mica tape
Insulation : XLPE
Filler : FR-PP yarn (2C x 1.5 mm^2)
: LSHF rod and FR-PP yarn (4C x 400 mm^2)
Binder : Fiberglass tape
Oversheath : LSHF

Test report number(s)	Test Standard(s)
719103333-EEC12/03-01	IEC 60502-1:2004/AMD1:2009
719103333-EEC12/03-02	IEC 60502-1:2004/AMD1:2009
719103333-EEC12/03-03	IEC 60502-1:2004/AMD1:2009
719103333-EEC12/03-04	IEC 60502-1:2004/AMD1:2009
7191078572-EEC14/05	IEC 60502-1:2004/AMD1:2009
719103333-EEC12/03-05	BS 6387:1994
719103333-EEC12/03-06	BS 6387:1994
719103333-EEC12/03-07	BS 6387:1994
719103333-EEC12/03-08	BS 6387:1994
719103333-EEC12/03-18	BS 6387:1994
7191078572-EEC14/04	BS 6387:1994
719103333-EEC12/03-09	IEC 60332-3-24:2000/AMD1:2008
719103333-EEC12/03-10	IEC 60332-3-24:2000/AMD1:2008
719103333-EEC12/03-11	IEC 60332-1-2:2004
719103333-EEC12/03-12	IEC 60332-1-2:2004
719103333-EEC12/03-13	IEC 61034-2:2005
719103333-EEC12/03-14	IEC 61034-2:2005
719103333-EEC12/03-15	IEC 60754-2:2011
719103333-EEC12/03-16	IEC 60331-21:1999
719103333-EEC12/03-17	IEC 60331-21:1999
7191125763-EEC15/03	IEC 60754-1:2011
7191248706-EEC20/05	IEC 60332-3-22:2018
7191248706-EEC20/06	IEC 60332-3-22:2018

Page 2 of 3
TÜV SÜD Product Service GmbH • Certification Body • Ridlerstraße 65 • 80339 Munich • Germany

TÜV®

ZERTIFIKAT ◆ CERTIFICATE ◆ 認證證書 ◆ СЕРТИФИКАТ ◆ CERTIFICADO ◆ CERTIFICAT

Product Service

CERTIFICATE

No. B 081496 0022 Rev. 00

Holder of Certificate: **Bangkok Cable Co., Ltd.**
93 Moo 11 Suksawat Rd.
Nai Khlong Bang Pla Kot, Phra Samut Chedi
Samut Prakan 10290
THAILAND

Certification Mark:

Product: **Fire Resistant Cables**

The product was tested on a voluntary basis and complies with the essential requirements. The certification mark shown above can be affixed on the product. It is not permitted to alter the certification mark in any way. In addition, the certification holder must not transfer the certificate to third parties. This certificate is valid until the listed date, unless it is cancelled earlier.
All applicable requirements of the testing and certification regulations of TÜV SÜD Group have to be complied. For details see: www.tuvsud.com/ps-cert

Test report no.: 7191248706-EEC20/12-TR

Valid until: 2026-02-23

Date, 2021-03-01

(WEI LIANG TAN)

Page 1 of 3
TÜV SÜD Product Service GmbH • Certification Body • Ridlerstraße 65 • 80339 Munich • Germany

TÜV®

ZERTIFIKAT ◆ CERTIFICATE ◆ 認證證書 ◆ СЕРТИФИКАТ ◆ CERTIFICADO ◆ CERTIFICAT

Product Service

CERTIFICATE

No. B 081496 0022 Rev. 00

Model(s): **FRC-XLPE/SWA/LSHF**

Brand Name: **BANGKOK CABLE**

Parameters:

Type	: CU/MICA/XLPE/SWA/LSHF Cable
Size	: 2C x 1.5 mm^2 to 4C x 400 mm^2
Voltage	: 0.6/1 kV
Conductor	: Stranded circular plain copper wires (class 2)
Fire barrier	: Mica tape
Insulation	: XLPE
Filler	: FR-PP yarn (2C x 1.5 mm^2)
	: LSHF rod and FR-PP yarn (4C x 400 mm^2)
Binder	: Polyester tape
Inner covering	: LSHF
Armour	: Galvanized steel wires
Binder	: Polyester tape
Oversheath	: LSHF

Test report number(s)	Test Standard(s)
7191082418-EEC14/17-01	IEC 60502-1:2004/AMD1:2009
7191082418-EEC14/17-02	BS 6387:2013
7191082418-EEC14/17-03	IEC 60331-21:1999 IEC 60332-1-2:2004 IEC 60332-3-24:2000/AMD1:2008 IEC 61034-2:2005/AMD1:2013
7191082418-EEC14/18	IEC 60502-1:2004/AMD1:2009
7191082418-EEC14/19	IEC 60502-1:2004/AMD1:2009
7191082418-EEC14/20-01	IEC 60502-1:2004/AMD1:2009
7191082418-EEC14/20-02	BS 6387:2013
7191082418-EEC14/20-03	IEC 60332-1-2:2004 IEC 60332-3-24:2000/AMD1:2008 IEC 60754-1:2011 IEC 60754-2:2011 IEC 61034-2:2005/AMD1:2013
7191248706-EEC20/07	IEC 60332-3-22:2018
7191248706-EEC20/08	IEC 60332-3-22:2018

Page 2 of 3
TÜV SÜD Product Service GmbH • Certification Body • Ridlerstraße 65 • 80339 Munich • Germany

TÜV®

บทที่ 6 ท่อร้อยสาย เครื่องประกอบ และกล่องไฟฟ้า

6.1 บทนำ

ในการเดินสายไฟฟ้านั้น ถึงแม้ว่าฉนวนที่หุ้มสายไฟฟ้า จะมีความแข็งแรงทนทานพอสมควร แต่ว่ามันก็ยังไม่แข็งแรงพอที่จะทนต่อแรงกระแทกต่างๆ จากภายนอกได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันสายไฟฟ้า ไม่ให้ได้รับความเสียหายและสามารถใช้งานได้ยาวนาน ในปัจจุบันจึงนิยมที่จะเดินสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย (Raceways) ท่อร้อยสายเป็นอุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อกลมหรือช่องสี่เหลี่ยมผิวในเรียบใช้ในการเดินสายไฟฟ้าโดยเฉพาะ

ประโยชน์ของการใช้ท่อร้อยสาย มีดังนี้

1. ป้องกันสายไฟฟ้าจากความเสียหายทางกายภาพ เช่น การถูกกระทบกระแทกจากของมีคม หรือถูกสารเคมีต่างๆ
2. ป้องกันอันตรายกับคนที่อาจจะไปแตะถูกสายไฟฟ้า เมื่อฉนวนของมันเสียหาย หรือมีการเสื่อมสภาพ
3. สะดวกต่อการร้อยสาย และ เปลี่ยนสายไฟฟ้าสายใหม่ เมื่อสายหมดอายุการใช้งาน
4. ท่อร้อยสายที่เป็นโลหะ จะต้องมีการต่อลงดิน เพื่อเป็นการป้องกันไฟฟ้าช๊อตได้
5. สามารถป้องกันไฟไหม้ได้ เนื่องจากถ้าเกิดการลัดวงจรภายในท่อประกายไฟ หรือความร้อนจะถูกจำกัดอยู่ภายในท่อ

ท่อร้อยสายทำมาจากวัสดุที่เป็นโลหะ เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม หรือ วัสดุที่เป็นอโลหะ เช่น พลาสติก หรือแอสเบสโตส

6.2 ชนิดของท่อร้อยสาย

ท่อร้อยสายที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน มีดังนี้

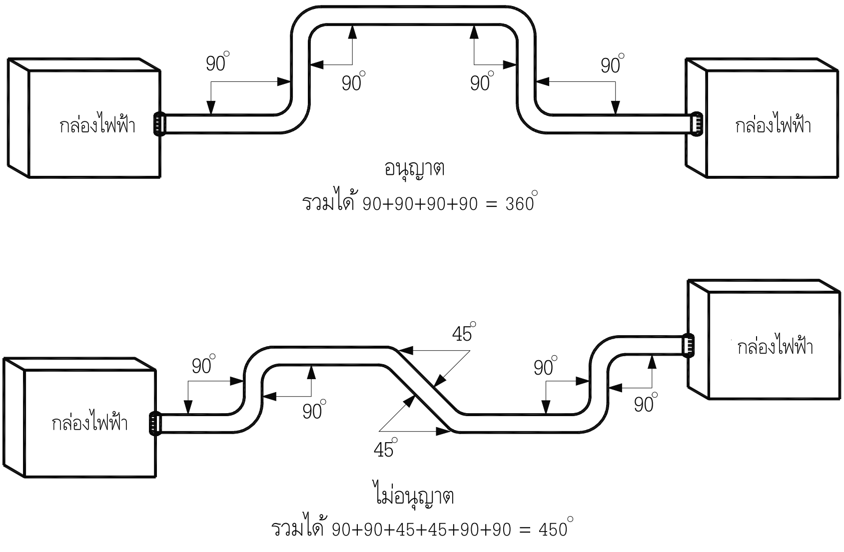
- ท่อโลหะหนา (Rigid Metal Conduit)
- ท่อโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit)
- ท่อโลหะบาง (Electrical Metallic Tubing)
- ท่อโลหะอ่อน (Flexible Metal Conduit)
- ท่ออโลหะแข็ง (Rigid Nonmetallic Conduit)
- รางเดินสาย (Wireways)
- รางเดินสายประกอบ (Auxiliary Gutters)

6.3 ท่อโลหะหนา (Rigid Metal Conduit, RMC)

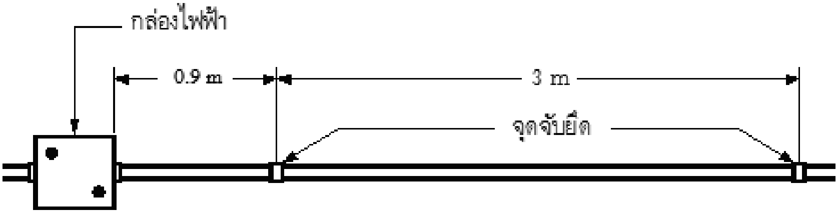
ท่อโลหะหนาเป็นท่อที่มีความแข็งแรงที่สุด สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี ท่อชนิดนี้ถ้าทำมาจากเหล็กกล้าจะเรียกว่า ท่อ RSC (Rigid Steel Conduit) และส่วนใหญ่จะผ่านขบวนการชุบด้วยสังกะสี (Galvanized) ซึ่งจะช่วยป้องกันสนิมได้อย่างดี การใช้งานสามารถใช้งานได้ทุกสถานที่ และทุกสภาพอากาศ ทั้งภายนอกและภายในอาคาร รวมทั้งสามารถฝังใต้ดินได้ ท่อ RMC มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1/2” - 6” และความยาวท่อนละ 3 m

การติดตั้งมีกฎเกณฑ์ดังนี้

ในสถานที่เปียก (Wet Location) ส่วนประกอบที่ใช้ยึดท่อ เช่น Bolt, Strap และ Screw เป็นต้น ต้องเป็นชนิดที่ทนต่อการผุกร่อนได้ ถ้าติดตั้งในที่ที่มีการผุกร่อน (Cinder Fill) ท่อจะต้องเป็นชนิดที่ทนต่อการผุกร่อนได้ หรือหุ้มท่อด้วยคอนกรีตหนาอย่างน้อย 2 นิ้ว ในการต่อท่อเข้ากับเครื่องประกอบจะต้องใช้บุชชิ่ง (Bushing) เพื่อป้องกันฉนวนของสายไฟฟ้าเสียหาย ถ้ามีการดัดโค้ง มุมดัดโค้งของท่อระหว่างจุดดึงสาย รวมกันจะต้องไม่เกิน 360 องศา นอกจากนี้ การเดินท่อจะต้องมีการจับยึดที่มั่นคงแข็งแรงทุกระยะไม่เกิน 3 m และห่างจากกล่องไฟฟ้า หรือจุดต่อไฟ ไม่เกิน 0.9 m



รูปที่ 6.1 มุมดัดโค้งท่อระหว่างจุดดึงสาย



รูปที่ 6.2 การติดตั้งท่อ RMC

6.4 ท่อโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit, IMC)

ท่อโลหะหนาปานกลาง หรือ ท่อ IMC เป็นท่อที่มีความหนาน้อยกว่าท่อ RMC สามารถใช้งานแทนท่อ RMC ได้ทุกสถานที่ แต่มีราคาถูกกว่า การติดตั้ง การต่อสาย และการต่อแยก รวมทั้งการต่อท่อ ทำในลักษณะเช่นเดียวกับท่อ RMC โดยท่อ IMC มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1/2” - 4” และความยาวท่อนละ 3 m

6.5 ท่อโลหะบาง (Electrical Metallic Tubing, EMT)

ท่อโลหะบางหรือท่อ EMT เป็นท่อที่มีผนังบางกว่าท่อ RMC และ IMC จึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าและมีราคาถูกกว่า สามารถใช้ได้เฉพาะภายในอาคารเท่านั้น ทั้งในที่เปิดโล่ง (Exposed) และ ที่ซ่อน (Conceal) เช่น เดินลอยตามผนัง เดินในฝ้าเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตได้ ท่อ EMT จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1/2” - 2” และความยาวท่อนละ 3 m

ไม่ควรใช้ท่อ EMT ในที่ที่มีการกระทบกระแทกทางกล ไม่ใช้ฝังใต้ดิน และไม่ใช้ในระบบแรงสูง ส่วนการติดตั้ง การต่อสายและการต่อแยก ทำในลักษณะเช่นเดียวกับท่อ RMC การต่อท่อ EMT ห้ามทำเกลียว การต่อท่อจะใช้ข้อต่อชนิดไม่มีเกลียว เช่น แบบใช้สกรูไข และไม่อนุญาตให้ใช้ท่อ EMT เป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน

6.6 ท่อโลหะอ่อน (Flexible Metal Conduit, FMC)

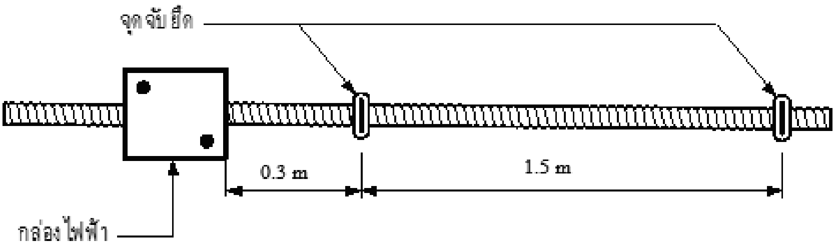
ท่อโลหะอ่อนทำมาจากเหล็กกล้าชุบสังกะสี ในลักษณะที่มีความอ่อนตัวสูง สามารถโค้งงอได้ ท่อโลหะอ่อนเหมาะสำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีการสั่นสะเทือนขณะใช้งาน เช่น มอเตอร์ เครื่องจักรต่างๆ หรือ ใช้กับงานที่ต้องการความโค้งงอด้วยมุมหักสูงๆ เช่น จุดต่อดวงโคม

ท่อโลหะอ่อนไม่อนุญาตให้ใช้ในบางกรณี ดังนี้

- ในปล่องลิฟท์ หรือ ปล่องขนของ
- ในห้องแบตเตอรี่
- ในสถานที่อันตราย
- ในสถานที่เปียก ยกเว้นเมื่อมีการป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในท่อ และใช้สายไฟฟ้าที่เหมาะ
- ฝังในดิน หรือ ฝังในคอนกรีต

การติดตั้งท่อ FMC จะต้องมีการจับยึดที่มั่นคงแข็งแรงทุกระยะไม่เกิน 1.50 m และห่างจากกล่องไฟฟ้า หรือ จากจุดต่อไฟ ไม่เกิน 0.30 m

ในการดัดโค้งท่อ FMC จะต้องมีมุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสาย รวมกันไม่เกิน 360 องศา นอกจากนี้สามารถใช้ท่อโลหะอ่อนเป็นตัวนำสำหรับต่อลงดินได้ เมื่อท่อโลหะอ่อนมีความยาวไม่เกิน 1.80 m และสายไฟภายในต่อกับเครื่องป้องกันกระแสเกินขนาดไม่เกิน 20 A



รูปที่ 6.3 การติดตั้งท่อโลหะอ่อน

6.7 ท่ออโลหะแข็ง (Rigid Nonmetallic Conduit, RNC)

ท่อ และ อุปกรณ์ของท่อชนิดนี้ ทำมาจากสารอโลหะซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมทางกายภาพได้แก่ ไฟเบอร์ ใยหิน ซีเมนต์ พีวีซีอย่างแข็ง อีพอคซี่เสริมใยแก้ว โพลีเอทธิลีน ความหนาแน่นสูง เป็นต้น

ท่ออโลหะแข็งจะมีความทนทานต่อการกัดกร่อน และการกระทบกระแทกได้ดี ท่อชนิดนี้แม้ว่าความแข็งแรงจะน้อยกว่าท่อโลหะ แต่มันมีความทนทานต่อความชื้น และการกัดกร่อนจากสารเคมีในอากาศได้ดีกว่า

ท่ออโลหะแข็งสามารถใช้ได้ในสถานที่ดังนี้

- ในที่เปิดโล่ง (Exposed) ที่ป้องกันความเสียหายทางกายภาพ
- ในที่ซ่อน (Conceal) เช่น เดินซ่อนในผนัง พื้น และ เพดาน
- ในที่เปียก และชื้น โดยมีการป้องกันน้ำเข้าไปในท่อ
- สามารถฝังใต้ดินได้ เพราะมันทนต่อความชื้น และการผุกร่อนได้ แต่เพื่อความแข็งแรงส่วนมากจะหุ้มด้วยคอนกรีต ที่เรียกว่า Duct Bank

ท่ออโลหะแข็งไม่อนุญาตให้ใช้ในบางกรณีดังนี้ คือ ใช้เป็นเครื่องแขวนและจับยึดดวงโคม และในที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของท่อที่ระบุ

6.8 จำนวนสายไฟฟ้าสูงสุดในท่อร้อยสาย

การเดินสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย เป็นแบบการติดตั้งที่มีการใช้มากที่สุด ซึ่งจำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายจะต้องมีจำนวนไม่มากเกินไป ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ

1. เมื่อมีกระแสไหลผ่านสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น จึงจำเป็นต้องมีที่ว่างสำหรับการระบายความร้อน

2. พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้า ต้องเล็กกว่าพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อร้อยสายพอสมควร เพื่อให้การดึงสายไฟฟ้าทำได้สะดวก และไม่ทำลายฉนวนของสายไฟฟ้า

เปอร์เซ็นต์สูงสุดของพื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้า ต่อพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย (% FILL) ต้องได้ตาม ตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 (ตารางที่ 5 - 3)
พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ

จำนวนสายในท่อร้อยสาย	1	2	3	4	มากกว่า 4
สายไฟทุกชนิดยกเว้นสายชนิดปลอกตะกั่วหุ้ม	53	31	40	40	40
สายไฟชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	55	30	40	38	35

ตารางที่ 6.2
ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย

ขนาดท่อ mm (นิ้ว)	พ.ท. หน้าตัดท่อ 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	166	97	126
25 (1)	491	260	152	196
32 (1 1/4)	804	426	249	322
40 (1 1/2)	1257	666	390	503
50 (2)	1963	1041	609	785
65 (2 1/2)	3318	1759	1029	1327
80 (3)	5027	2664	1558	2011
90 (3 1/2)	6362	3372	1972	2545
100 (4)	7854	4163	2435	3142
125 (5)	12272	6504	3804	4909
150 (6)	17671	9366	5478	7069

หมายเหตุ

- พื้นที่หน้าตัดท่อร้อยสาย คิดจากสูตร

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

โดยที่

A = พื้นที่หน้าตัด (mm^2)

d = เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

ตัวอย่างที่ 6.1

ท่อขนาด 80 mm (3 นิ้ว) มีพื้นที่หน้าตัดเท่าใด และถ้าใช้บรรจุสาย 4 เส้น พื้นที่หน้าตัดรวมของสายต้องไม่เกินเท่าใด

วิธีทำ

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

$$= \frac{\pi}{4} 80^2$$

$$= 5,027 \text{ mm}^2$$

สาย 4 เส้น ต้องใช้ไม่เกิน 40 %

∴ พื้นที่หน้าตัดรวมของสายต้องไม่เกิน

$$= 5027 \times 0.4$$

$$= 2,011 \text{ mm}^2$$

6.9 มิติสายไฟฟ้า

ตารางที่ 6.3
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า

ขนาดสาย	สาย 60227 IEC 01		สาย NYY 1/C		สาย NYY 3/C		สาย NYY 4/C		สาย XLPE 1/C	
ขนาดสาย (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)
1	-	-	8.8	60.8	13.0	133	14.0	154	-	-
1.5	3.3	8.6	9.2	66.5	13.5	143	14.5	165	6.5	33.1
2.5	4.0	12.6	9.8	75.4	15.0	177	16.0	201	7.0	38.4
4	4.6	16.6	10.5	86.6	16.5	214	17.5	241	7.5	44.1
6	5.2	21.2	11.0	95.0	18.0	254	19.0	284	8.0	50.2
10	6.7	35.2	12.0	113	20.5	330	23.0	416	8.5	56.7
16	7.8	47.7	13.0	133	24.5	471	26.5	552	9.5	70.8
25	9.7	73.8	14.5	165	28.5	638	31.0	755	11.5	104
35	10.9	93.3	16.0	201	31.5	779	35.0	962	12.5	123
50	12.8	129	17.0	227	36.0	1018	39.5	1225	14.0	154
70	14.6	167	19.0	284	40.5	1288	44.5	1555	15.5	189
95	17.1	230	21.5	363	46.0	1662	51.5	2083	17.5	241
120	18.8	278	23.0	416	50.5	2003	56.0	2463	19.5	299
150	20.9	343	26.0	531	56.0	2463	62.0	3019	21.5	363
185	23.3	426	28.0	616	61.5	2971	68.0	3632	23.8	434
240	26.6	556	31.5	779	69.0	3739	76.5	4596	26.5	552
300	29.6	688	35.0	962	76.0	4537	85.0	5675	29.0	661
400	33.2	866	38.5	1164	-	-	-	-	32.5	830
500	-	-	43.0	1452	-	-	-	-	36.5	1046

6.10 ตัวอย่างการคำนวณขนาดท่อร้อยสาย

ตัวอย่างที่ 6.2

ท่อร้อยสายขนาด 100 mm มีพื้นที่หน้าตัดภายใน เท่าใด

วิธีทำ

ท่อร้อยสายขนาด 100 mm มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 80 mm

∴ พื้นที่หน้าตัดภายใน $= \frac{\pi}{4} d^2$

$= \frac{\pi}{4} 100^2$

$= 7{,}854 \text{ mm}^2$

ตัวอย่างที่ 6.3

ต้องการร้อยสาย 60227 IEC 01 จำนวน 5 เส้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3 x 150 mm^2

1 x 70 mm^2

G - 10 mm^2

จะต้องใช้ท่อขนาดเท่าใด

วิธีทำ

จากตารางที่ 6.3 มิติสายไฟฟ้า

สาย 150 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัด = 3 x 343 = 1,029 mm^2

สาย 70 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัด = 1 x 167 = 167 mm^2

สาย 10 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัด = 1 x 35.2 = 35.2 mm^2

พื้นที่หน้าตัดรวม = 1,231.2 mm^2

จากตารางที่ 6.2 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย

ท่อขนาด 50 mm (2”) 40 % ของพื้นที่หน้าตัด = 785 mm^2

ท่อขนาด 65 mm (2 ½”) 40 % ของพื้นที่หน้าตัด = 1,327 mm^2

∴ เลือกใช้ท่อขนาด 65 mm (2 ½”)

ตัวอย่างที่ 6.4

ต้องการร้อยสายไฟฟ้า NYY 3 x 240 mm^2 ในท่อร้อยสาย จะต้องใช้ท่อร้อยสาย ขนาดเท่าใด

วิธีทำ

จากตารางที่ 6.3 ขนาดสาย NYY

สาย 240 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัด = 779 mm^2

ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดรวม = 3 x 779 mm^2

= 2,337 mm^2

จากตาราง ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย

ท่อ 80 mm , (3”) 40 % ของพื้นที่หน้าตัด = 2,011 mm^2

ท่อ 90 mm , (3 ½”) 40 % ของพื้นที่หน้าตัด = 2,545 mm^2

ดังนั้นเลือกใช้ท่อขนาด 90 mm (3 ½”)

ตัวอย่างที่ 6.5

สาย XLPE ขนาด 95 mm^2 ถ้าเดินในท่อร้อยสาย ขนาด 65 mm จะได้มากที่สุดกี่เส้น

วิธีทำ

จากตารางขนาดสาย XLPE ขนาด 95 mm^2

มีพื้นที่หน้าตัด = 241 mm^2

และจากตารางขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายได้ว่า 40 %

ของพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสายขนาด 65 mm = 1,327 mm^2

$\therefore$ ได้จำนวนสายมากที่สุดคือ 1,327 / 241 = 5.51 เส้น

จำนวนสายมากที่สุดคือ <u>5 เส้น</u>

6.11 เครื่องประกอบ

หลังจากที่เลือกวิธีเดินสายไฟในท่อแล้ว การเดินสายไฟจะยังไม่แล้วเสร็จสมบูรณ์ถ้าไม่มีเครื่องประกอบ เพราะการเดินสายไฟในท่อ บางงานอาจมีจุดต่อเชื่อมและจุดต่อแยก เพื่อความสะดวก ปลอดภัย และประโยชน์ทางกล เครื่องประกอบออกแบบสำหรับการเดินสายให้สมบูรณ์มากขึ้น เช่น ตัวต่อ (Connectors, couplings) บุชชิ่ง ข้องอ Junction Box Pull Box และอื่นๆ

NEC Article 314 ได้กล่าวถึงอุปกรณ์ช่วยดังกล่าวอย่างละเอียด ดังนี้

เครื่องประกอบ (Fittings) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในการเดินสายโดยใช้ร่วมกับท่อร้อยสายต่างๆ เช่น ท่อร้อยสาย รางเดินสาย และรางเคเบิล เป็นต้น การใช้เครื่องประกอบในการเดินสายจะมีวัตถุประสงค์เพื่องานทางกลมากกว่าทางไฟฟ้า ซึ่งจะพอสรุปได้ดังนี้

- เพื่อช่วยในการจับยึดท่อร้อยสายให้มีความมั่นคงแข็งแรง

- เพื่อการเปลี่ยนทิศทางในการเดินสาย
- เพื่อความสะดวกในการดึงสาย
- เพื่อการตัดต่อสาย

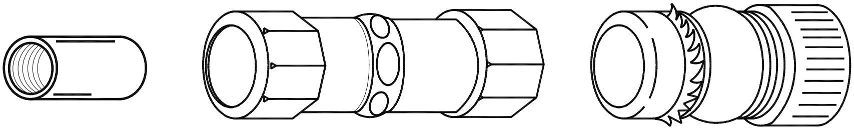
เครื่องประกอบสามารถแบ่งตามหน้าที่การใช้งานได้ 3 ประเภท ดังนี้

- กล่องไฟฟ้า (Boxes)
- กล่องดึงสาย (Pull Boxes)
- เครื่องประกอบท่อร้อยสาย (Conduit Fittings)

อุปกรณ์ (Devices) หมายถึง หน่วยหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มุ่งหมายให้เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้า แต่ไม่ใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น สวิตช์, เต้ารับ เป็นต้น

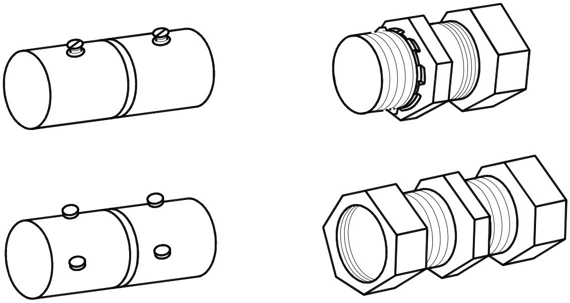
อุปกรณ์ประกอบท่อร้อยสาย (Conduit Fittings)

เครื่องประกอบท่อร้อยสาย หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับท่อร้อยสาย เช่น ข้อต่อ (Couplings) ข้อต่อยึด (Connectors) บุชชิ่ง (Bushing) ข้องอ (Elbows) และตัวจับยึด (Supports) เป็นต้น เครื่องประกอบท่อร้อยสายชนิดที่ใช้กับท่อโลหะหนา (RMC) และท่อโลหะหนาปานกลาง (IMC) ส่วนใหญ่จะเป็นแบบมีเกลียว ส่วนกรณีที่ใช้กับท่อโลหะบาง (EMT) นั้น เนื่องจากท่อชนิดนี้ไม่มีเกลียวจึงต้องเชื่อมต่อเข้ากับกล่องไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อื่นๆ โดยใช้ข้อต่อ และข้อต่อยึดชนิดต่างๆ ได้แก่ แบบขันสกรู (Setscrew) แบบชนิดอัดแน่น (Compression) และแบบชนิดย้ำร่อง (Indenter) เครื่องประกอบท่อร้อยสายชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 6.4



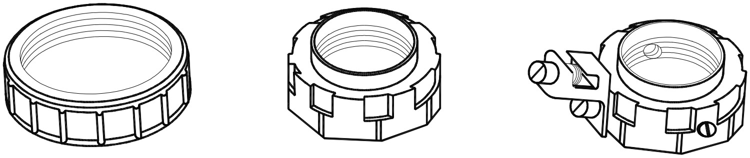
แบบมีเกลียว (Steel Coupling) | แบบอัดแน่น (Compression) | แบบกันฝน (Raintight)

เครื่องประกอบท่อ RMC



แบบขันสกรู (Setscrew) | แบบอัดแน่น (Compression)

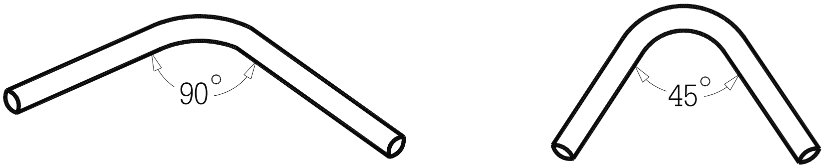
เครื่องประกอบท่อ EMT



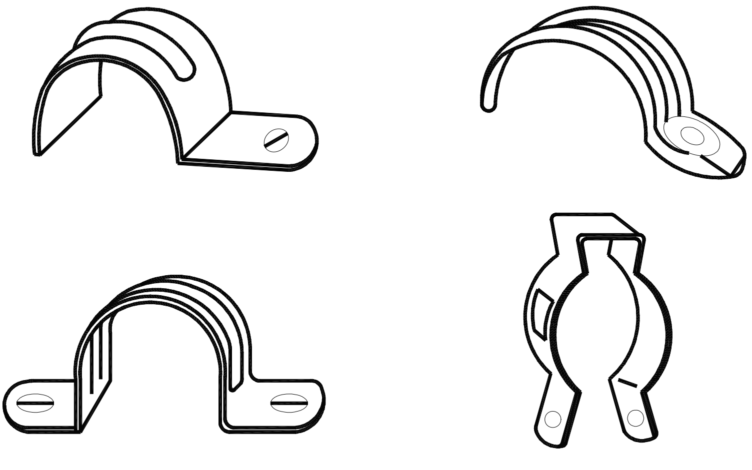
ชนิดทำจากอโลหะ (Polypropylene) | ชนิดทำจากโลหะ (Steel / Malleable Iron) | ชนิดมีการต่อลงดิน (Grounding Lug)

บุชชิ่ง

รูปที่ 6.4 เครื่องประกอบต่างๆ ของท่อร้อยสาย



ข้องอ



ตัวจับยึด

รูปที่ 6.4 เครื่องประกอบต่างๆ ของท่อร้อยสาย (ต่อ)

6.12 กล่องไฟฟ้า (Boxes)

กล่องไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินสายมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น กล่องสำหรับจุดต่อ ไฟฟ้าของสวิตซ์ หรือ อุปกรณ์ (Outlet Boxes) กล่องสำหรับต่อสาย กล่องแยกสาย เป็นต้น กล่องไฟฟ้าเหล่านี้จะช่วยให้มีความปลอดภัยจากประกายไฟที่จุดต่อไฟไปใกล้กับวัสดุที่ติดไฟ

กล่องไฟฟ้าเป็น Fittings ที่มีใช้มากที่สุด มี 4 รูปแบบคือ

- Round Box
- Octagonal Box
- Square Box
- Rectangular Box

กล่องกลมและกล่องแปดเหลี่ยมใช้งานเดินซ่อมในฝ้า

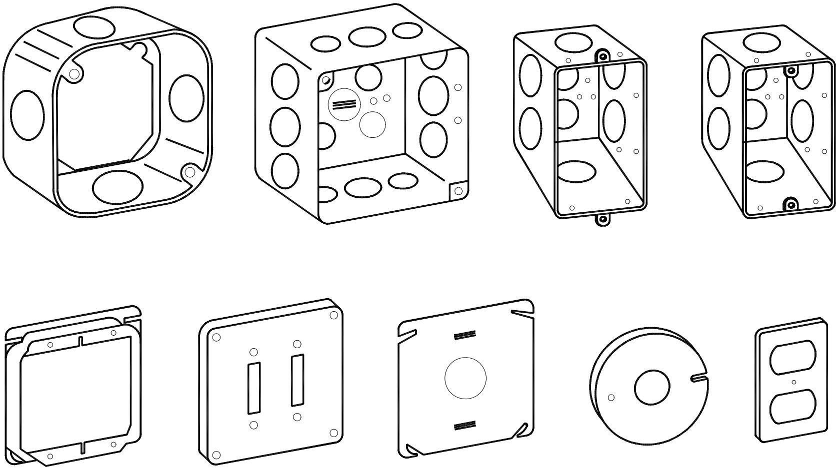
กล่องจัตุรัสและผืนผ้าใช้ติดตั้งบนปูนแต่ถ้าใช้ในที่ซ่อมได้

กล่องผืนผ้า Rectangular หรือ Gang boxes มีปริมาตรมากกว่ากล่องจัตุรัส สามารถใช้ได้ ถ้าบรรจุ Device 3 ตัว เรียกว่า 3 Gang boxes

กล่องส่วนมากทำจากเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 1.2 mm และมีการเคลือบสังกะสี Galvanize เพื่อป้องกันสนิม

Knock out สำหรับท่อเข้าออก

กล่องต้องมีความลึกไม่น้อยกว่า ½” แต่โดยทั่วไปจะลึกไม่น้อยกว่า 1¼” และขนาดที่ใช้มากที่สุดลึก 2½”



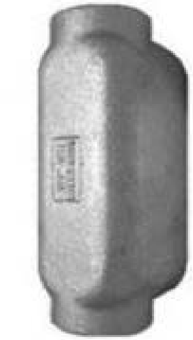
รูปที่ 6.5 กล่องไฟฟ้า และ แผ่นปิดชนิดต่างๆ

กล่องไฟฟ้าอาจทำมาจากโลหะพวกเหล็ก แล้วเคลือบด้วยสังกะสี (Galvanized Steel) หรืออโลหะพวก Porcelain, Bakelite และ PVC กล่องไฟฟ้าที่ทำมาจากโลหะ จะต้องมีการต่อลงดินเพื่อความปลอดภัย ขนาดของกล่องไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับจำนวนสายไฟฟ้าที่ผ่านกล่องไฟฟ้านั้น การไฟฟ้าได้ให้ข้อกำหนดสำหรับกล่องไฟฟ้าไว้ดังนี้

- กล่องไฟฟ้าจะต้องสามารถเข้าถึงได้ และ มีที่ว่างสำหรับปฏิบัติงานเพียงพอ
- ตรงตำแหน่งที่สายไฟผ่านกล่อง จะต้องมีบุชชิ่ง หรือ เครื่องประกอบขอบบน เพื่อป้องกันฉนวนของสายไฟเสียหาย
- กล่องไฟฟ้าในระบบแรงสูง ต้องมีป้าย “อันตรายไฟฟ้าแรงสูง” ติดไว้ถาวรที่ด้านนอกของฝากล่อง
- กล่องไฟฟ้าจะต้องไม่มีรู หรือ ช่องที่โตพอให้วัตถุเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 mm สอดเข้าไปได้

6.13 ข้อต่อเปิด (Conduit Bodies)

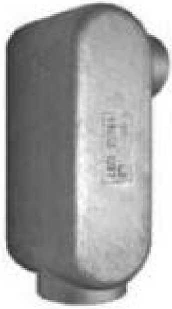
ข้อต่อเปิด หมายถึง ส่วนแยกต่างหากของระบบท่อร้อยสายที่จุดต่อระหว่างส่วนของระบบตั้งแต่ 2 ส่วนขึ้นไป หรือจุดปลายของระบบ เพื่อให้เข้าถึงระบบสายได้โดยฝาครอบที่ถอดได้ ข้อต่อที่เปิดใช้ มีแบบ OC, LB, LL, LR, TB, OT



ข้อต่อ OC

ข้อต่อ LB

ข้อต่อ LL



ข้อต่อ LR

ข้อต่อ TB

ข้อต่อ OT

รูปที่ 6.6 ข้อต่อแบบต่างๆ

- ข้อต่อเปิดถ้ามีสายไฟขนาด 16 mm^2 หรือเล็กกว่า ต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของท่อใหญ่สุด
- ข้อต่อเปิดจะต้องมีการจับยึดอย่างมั่นคง และต้องมีการป้องกันสายไฟเข้าออก

6.14 การคำนวณขนาดกล่องต่อสาย

การติดตั้งท่อร้อยสายทุกครั้งจะต้องมีการตัดต่อสาย, เปลี่ยนทิศทางการเดินท่อและดึงสายไฟฟ้า การกระทำดังกล่าวจะต้องทำในกล่องต่อสาย, ข้อต่อเปิด และกล่องดึงสายเสมอเพื่อไม่ให้ฉนวนสายไฟฟ้าได้รับความเสียหาย กล่องต่อสายต้องมีปริมาตรเพียงพอสำหรับการปฏิบัติงาน และการระบายความร้อน การคำนวณหาขนาดกล่องต่อสายที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก

1. การคำนวณ

การคำนวณขนาดกล่องต่อสาย ทำตาม NEC Art 314

Outlet, Device, Pull, and Junction Boxes, Conduit Bodies, Fittings and Handhole Enclosures

การคำนวณ ตาม NEC Art 314 ใช้สายไฟฟ้าในมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ซึ่งกำหนดขนาดสายเป็น AWG (American Wire Gauge) ผู้เขียนจึงได้แปลงให้เป็น mm^2 แล้วใช้ขนาดที่ใกล้เคียงตามมาตรฐานไทย การคำนวณดังกล่าวเป็นการคำนวณโดยประมาณ ดังนั้นจึงสามารถใช้กับสายทุกชนิด คือใช้ได้กับสาย 60227 IEC 01 สาย NYY และ สาย XLPE

2. NEC Art 314

NEC Art 314 ได้คำนวณและให้ตารางขนาดความจุของกล่องมาตรฐาน (Standard Boxes) และจำนวณสายไฟฟ้าขนาดเท่ากันที่สามารถบรรจุในกล่องต่อสาย

ตารางที่ 6.4 ขนาด และจำนวนสายไฟใน Standard Boxes

มิติของกล่อง กว้า งลึก หรือ กว้าง ยาว ลึก			ความจุต่ำสุด		จำนวนตัวนำสูงสุด (เส้น) พื้นที่ภาคตัดขวาง (mm^2)						
mm	in		cm^3	in^3	0.5	1.0	1.5	2.5	4	6	10
100× 32	(4×1¼)	กลม หรือ แปดเหลี่ยม	205	12.5	8	7	6	5	5	5	2
100×38	(4×1½)	กลม หรือ แปดเหลี่ยม	254	15.5	10	8	7	6	6	5	3
100×54	(4×2⅛)	กลม หรือ แปดเหลี่ยม	353	21.5	14	12	10	9	8	7	4
100×32	(4×1¼)	สี่เหลี่ยมจตุรัส	295	18.0	12	10	9	8	7	6	3
100×38	(4×1½)	สี่เหลี่ยมจตุรัส	344	21.0	14	12	10	9	8	7	4
100×54	(4×2⅛)	สี่เหลี่ยมจตุรัส	497	30.0	20	17	15	13	12	10	6
120×32	(4¹¹/₁₆×1¼)	สี่เหลี่ยมจตุรัส	418	25.5	17	14	12	11	10	8	5
120×38	(4¹¹/₁₆×1½)	สี่เหลี่ยมจตุรัส	484	29.5	19	16	14	13	11	9	5
120×54	(4¹¹/₁₆×2⅛)	สี่เหลี่ยมจตุรัส	689	42.0	28	24	21	18	16	14	8
75× 50× 38	(3×2×1½)	อุปกรณ์	123	7.5	5	4	3	3	3	2	1
75× 50× 50	(3×2×1½)	อุปกรณ์	164	10.0	6	5	5	4	4	3	2
75× 50× 57	(3×2×2¼)	อุปกรณ์	172	10.5	7	6	5	4	4	3	2
75× 50 ×65	(3×2×2½)	อุปกรณ์	205	12.5	8	7	6	5	5	4	2
75 ×50× 70	(3×2×2¾)	อุปกรณ์	230	14.0	9	8	7	6	5	4	2
75× 50 ×90	(3×2×3½)	อุปกรณ์	295	18.0	12	10	9	8	7	6	3
100×54×38	(4×2⅛×1½)	อุปกรณ์	169	10.3	6	5	5	4	4	3	2
100×54×48	(4×2⅛×1⅞)	อุปกรณ์	213	13.0	8	7	6	5	5	4	2
100×54×54	(4×2⅛×2⅛)	อุปกรณ์	238	14.5	9	8	7	6	5	4	2
95×50×65	(3¾×2×2½)	กล่องฝังปูน	230	14.0	9	8	7	6	5	4	2
95×50×90	(3¾×2×2½)	กล่องฝังปูน	344	21.0	14	12	10	9	8	7	4
min. 44.5 depth FS—single cover/gang(1¾)			295	18	9	7	6	6	5	4	2
min 60.3 depth FD—single cover/gang (2⅜)			395	24	12	10	9	8	7	6	3
min. 44.5 depth FS—multiple cover/gang(1¾)			295	18	12	10	9	8	7	6	3
min 60.3 depth FD—multiple cover/gang (2⅜)			395	24	16	13	12	10	9	8	4

ตารางที่ 6.5 ปริมาตรสายไฟฟ้าทุกชนิด

พื้นที่ภาคตัดขวางของตัวนำ (mm^2)	ปริมาตร ภายในกล่องสำหรับหนึ่งตัวนำ	
	(cm^3)	(in^3)
0.5	24.6	1.50
1.0	28.7	1.75
1.5	32.8	2.00
2.5	36.9	2.25
4	41.0	2.50
6	49.2	3.00
10	81.9	5.00

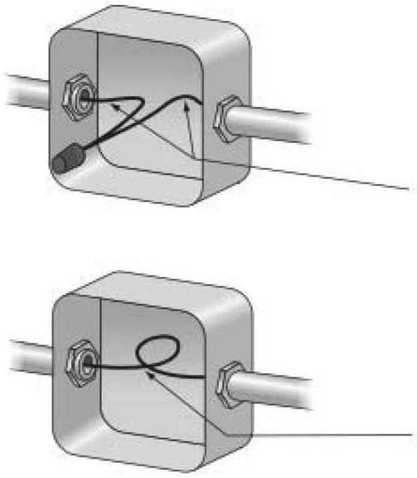
3. ขั้นตอนการคำนวณหาขนาด กล่องต่อสาย

1. หาจำนวนสายไฟ และหาปริมาตรสายไฟ ตามตาราง
2. Device ต่างๆ ใน Box เช่น Switch, Plug จะให้เป็นจำนวนสายไฟ เพื่อหาปริมาตร
3. รวมปริมาตรทั้งหมด
4. เลือกขนาด Box ตามตาราง ที่มีปริมาตรมากกว่าปริมาตรรวม

ข้อกำหนดวิธีการคำนวณขนาดของ Box ทำดังนี้

1) ความจุของสายไฟฟ้า (Conductor Fill)

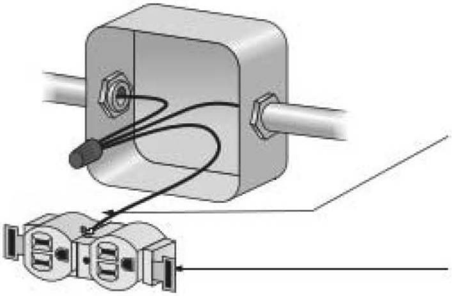
- แต่ละเส้นของสายไฟฟ้าที่เริ่มจากภายนอก Box มาสิ้นสุดและตัดต่อภายใน Box ให้นับเป็น 1 เส้น
- สายไฟฟ้าที่เดินผ่านโดยไม่มีการตัดต่อนับเป็น 1 เส้น
- คำนวณปริมาตร
- สาย Looped เกิน 12 in (300 mm) ให้นับเป็น 2 เส้น



รูปที่ 6.7 สาย Looped

2) ความจุสำหรับสวิตซ์ไฟ และ เต้ารับ (Device or Equipment Fill)

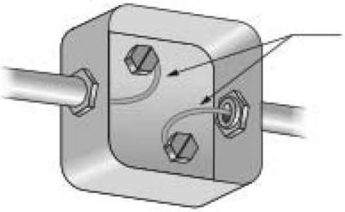
- ตัวรองรับ (Yoke or Strap) ที่มี Device 1 ชุด หรือมากกว่า ให้นับเป็น 2 เส้น สำหรับสายไฟโตสุดที่ใช้
- เมื่อมี Device 1 ชุดหรือมากกว่าให้นับเป็น 2 เส้นสำหรับสายไฟโตสุดที่ใช้



รูปที่ 6.8 Box ที่มี Device

3) Equipment Grounding Conductor Fill

- ถ้ามี Equipment Grounding Conductor 1 เส้นสำหรับสายไฟฟ้าโตสุด
- ถ้ามี Equipment Grounding Conductor อีกชุดหนึ่ง ให้นับเป็น 1 เส้น ตามขนาดสายที่โตสุด



รูปที่ 6.9 Box ที่มี Grounding

ตัวอย่างที่ 6.6

มีกล่องอุปกรณ์ Device Box หรือ Handy Box ขนาด 100 x 54 x 38 mm สามารถบรรจุสายขนาด 1, 1.5, 2.5, 4, 6 และ 10 mm^2 อย่างละกี่เส้น

วิธีทำ

พิจารณาจากตารางที่ 6.4 ที่แสดงความจุของกล่องต่อสาย

สายขนาด	1 mm^2	ใช้ได้	5 เส้น
สายขนาด	1.5 mm^2	ใช้ได้	5 เส้น
สายขนาด	2.5 mm^2	ใช้ได้	4 เส้น
สายขนาด	4 mm^2	ใช้ได้	4 เส้น
สายขนาด	6 mm^2	ใช้ได้	3 เส้น
สายขนาด	10 mm^2	ใช้ได้	2 เส้น

ตัวอย่างที่ 6.7

จงหา Square Box ขนาดเล็กสุด สำหรับ

- สายขนาด 2.5 mm^2 จำนวน 2 เส้น
- สายขนาด 1.5 mm^2 จำนวน 4 เส้น

วิธีทำ

จาก ตารางที่ 6.5

สาย 2.5 mm^2 = 2 x 2.25

= 4.5 in^3

สาย 1.5 mm^2 = 4 x 2.00

= 8.0 in^3

ปริมาตรสายไฟฟ้า = 4.5 + 8.0 in^3

= 12.5 in^3

จาก ตารางที่ 6.4

ใช้ Square Box ขนาด 4 x 1¼ in (18 in^3)

ตัวอย่างที่ 6.8

จงหา Device Box ขนาดเล็กสุด สำหรับ

- สายขนาด 4 mm^2 จำนวน 3 เส้น
- สายขนาด 6 mm^2 จำนวน 2 เส้น

วิธีทำ

จาก ตารางที่ 6.5

สาย 4 mm^2 = 3 x 2.50

= 7.5 in^3

สาย 6 mm^2 = 2 x 3.00

= 6.0 in^3

ปริมาตรสายไฟฟ้า = 7.5 + 6.0 in^3

= 13.5 in^3

จาก ตารางที่ 6.4

ใช้ Device Box ขนาด 3 x 2 x 2¾ in (14 in^3)

ตัวอย่างที่ 6.9

จงหา Square Box ขนาดเล็กสุด สำหรับ

สายขนาด	4 mm^2	จำนวน 2 เส้น
สายขนาด	2.5 mm^2	จำนวน 2 เส้น
สาย EGC ขนาด	2.5 mm^2	จำนวน 1 เส้น

วิธีทำ

จาก ตารางที่ 6.5

สาย 4 mm^2	=	2 x 2.50
	=	5.0 in^3
สาย 2.5 mm^2	=	2 x 2.25
	=	4.5 in^3
สาย EGC 2.5 mm^2	=	1 x 2.25
	=	2.25 in^3
ปริมาตรสายไฟฟ้า	=	5.0 + 4.5 + 2.25 in^3
	=	11.75 in^3

จาก ตารางที่ 6.4

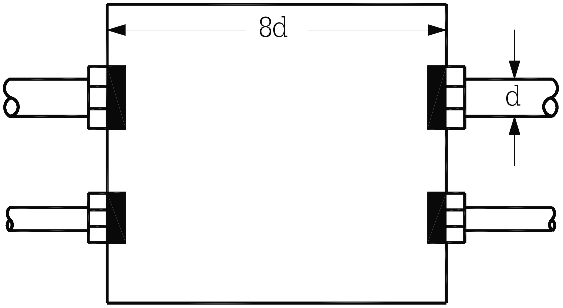
ใช้ Square Box ขนาด 4 x 1¼ in (18 in^3)

6.15 การคำนวณขนาดกล่องดึงสาย (Pull Boxes) กล่องชุมสาย (Junction Box)

ถ้าท่อร้อยสายมีความยาวมากและอาจต้องเปลี่ยนทิศทางการเดินสาย จะใช้กล่องดึงสายช่วยในการเดินสายไฟฟ้าเพื่อความสะดวกโดยจะช่วยลดช่วงความยาวในการดึงสายป้องกันไม่ให้สายไฟฟ้าเสียหาย โดยใช้กับท่อร้อยสายที่ใช้สายขนาด ตั้งแต่ 16 mm^2 ขึ้นไป

1. แบบดึงตรง (Straight Pull)

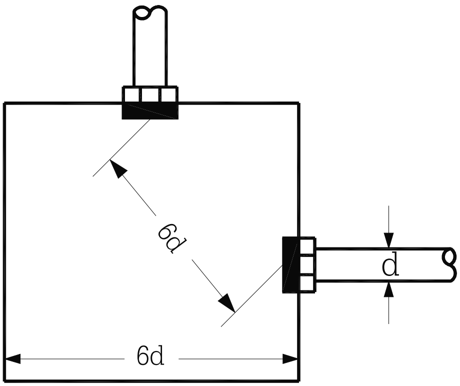
ในการดึงสายไฟฟ้าแบบดึงตรง กล่องดึงสายจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใหญ่ที่สุด ส่วนด้านกว้างของกล่องคือทางเข้าของสายไฟฟ้า ควรให้มีความกว้างที่มากพอในการใส่บุชชิ่ง (Bushing) ได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 กล่องดึงสายชนิดดึงตรง

2. แบบดึงเป็นมุม (Angle Pull)

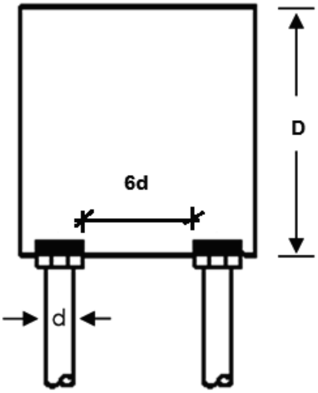
กรณีชนิดดึงเป็นมุมนั้นระยะระหว่างท่อไปถึงผนังฝั่งตรงกันข้ามของกล่องดึงสายจะต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใหญ่ที่สุดรวมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เหลือซึ่งเข้าสู่ผนังของกล่องในแถวเดียวกัน และระยะที่สั้นที่สุดระหว่างท่อทางด้านเข้าและท่อทางด้านออกจะต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนั้นดังแสดงในรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 กล่องดึงสายชนิดดึงเป็นมุม

3. แบบดึงเป็นรูปตัว U (U Pull)

กรณีชนิดดึงเป็นรูปตัว U นั้นระยะระหว่างท่อไปถึงผนังฝั่งตรงกันข้ามของกล่องดึงสายจะต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใหญ่ที่สุดรวมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เหลือซึ่งเข้าสู่ผนังของกล่องในแถวเดียวกัน และระยะที่สั้นที่สุดระหว่างท่อทางด้านเข้า และท่อทางด้านออกจะต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนั้นดังแสดงในรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 กล่องดึงสายชนิดดึงเป็นรูปตัว U

ตัวอย่างที่ 6.10

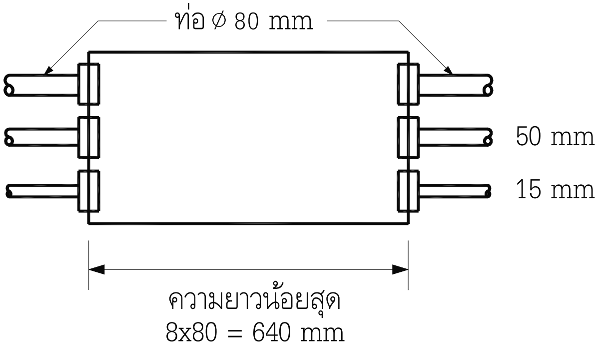
จงหาขนาด Pull Box สำหรับแบบดึงตรงซึ่งใช้กับท่อ 3 ขนาด คือ 80 mm, 50 mm และ 15 mm

วิธีทำ

ความยาวน้อยสุด $= 8 \times d$

$= 8 \times 80$

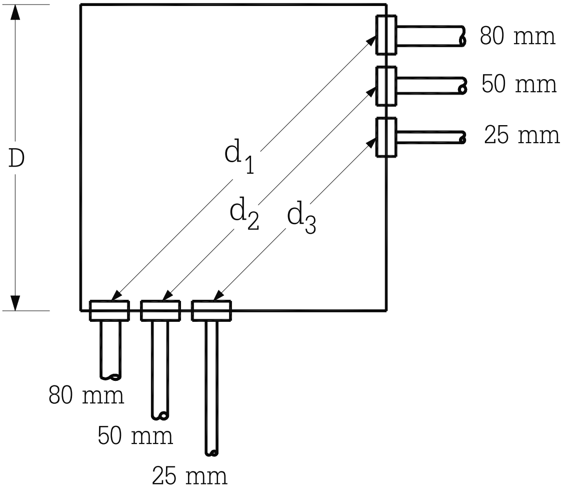
$= 640$



ตัวอย่างที่ 6.11

จงหาขนาด Pull Box สำหรับแบบดึงเป็นมุมซึ่งใช้กับท่อ 3 ขนาด คือ 80 mm, 50 mm และ 25 mm

วิธีทำ

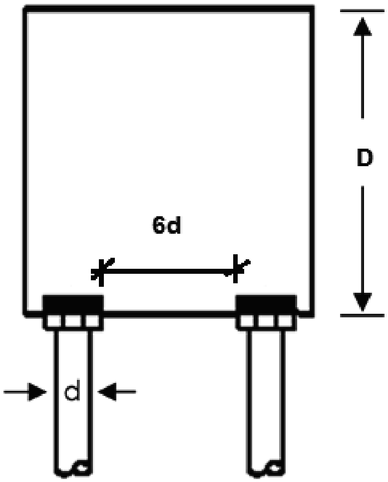


D	=	6 × 80 + 50 + 25	=	555	mm
d_1	=	6 × 80	=	480	mm
d_2	=	6 × 50	=	300	mm
d_3	=	6 × 25	=	150	mm

ตัวอย่างที่ 6.12

จงหาขนาด Pull Box สำหรับแบบดึงเป็นรูปตัว U ซึ่งใช้กับท่อขนาด 50 mm

วิธีทำ



D	=	6 × 50 + 50	=	350 mm
6d	=	6 × 50	=	300 mm

บทที่ 7 พิกัดกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าและตารางพิกัดกระแส

7.1 บทนำ

สายไฟฟ้าเป็นวัสดุที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในระบบไฟฟ้า เกี่ยวข้องกับการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า และระบบอื่นๆ ที่ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าต่างๆ จึงสำคัญอย่างยิ่งในระบบไฟฟ้า ทั้งนี้วิศวกรและช่างต้องรู้และเข้าใจสายไฟฟ้าต่างๆ เป็นอย่างดี เพื่อที่จะสามารถคำนวณ และเลือกใช้สายไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม ซึ่งหากเลือกขนาดของสายไฟฟ้าใหญ่เกินไปก็จะเกิดความสิ้นเปลือง หรือหากเลือกสายไฟฟ้าขนาดเล็กเกินไปก็จะไม่เพียงพอต่อการใช้งาน อาจทำให้เกิดความร้อนหรือลัดวงจรขึ้นได้

7.2 การนำกระแสของสายไฟฟ้า

การนำกระแสของสายไฟฟ้า มีปัจจัยอยู่หลายประการ ที่สำคัญ มีดังนี้

1) **ตัวนำ (Conductor)**

- ใช้โลหะ 2 ชนิดคือ Copper, Aluminum
- เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำ จะเกิดกำลังสูญเสียขึ้น คือ $I^2 R$
- กำลังสูญเสียนี้จะทำให้เกิดความร้อน

2) ฉนวน (Insulation)

- ใช้กันมากมี 2 ชนิดคือ PVC 70 °C, XLPE 90 °C
- ความร้อนจากตัวนำ ทำให้อุณหภูมิฉนวนสูงขึ้น แต่จะเกินค่าพิกัดอุณหภูมิฉนวนไม่ได้
- ดังนั้นพิกัดอุณหภูมิของฉนวนจะเป็นตัวกำหนดการนำกระแสของสายไฟฟ้า

3) อุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature)

อุณหภูมิโดยรอบ เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Temperature Rise) ของฉนวน หากอุณหภูมิโดยรอบสูงสายไฟฟ้าก็จะนำกระแสได้น้อยลง

Ambient Temperature

Air	40 °C (เดิม 30 °C)
Underground	30 °C (เดิม 20 °C)

4) ความต้านทานความร้อนดิน (Soil Thermal Resistivity)

สายไฟฟ้าที่ฝังดินโดยตรงหรือเดินในท่อฝังดินความสามารถในการระบายความร้อนของดิน จะเป็นตัวกำหนดการนำกระแสของสายไฟฟ้า

Soil Thermal Resistivity

ดินแห้ง (Dry)	2.5 K.m / W
ดินชื้น (Moist)	1.0 K.m / W

5) วิธีการติดตั้ง (Method of Installation)

การเดินสายไฟฟ้าทำได้หลายแบบ แต่ละแบบจะมีความสามารถในการ ระบายความร้อนไม่เหมือนกัน และวิธีการติดตั้งมีผลต่อการนำกระแสของสายไฟฟ้า

6) **กลุ่มวงจร (Grouping)**

เมื่อมีวงจรไฟฟ้าหลายวงจรอยู่ใกล้กันความร้อนจากวงจรไฟฟ้าข้างเคียง จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น การนำกระแสของสายไฟฟ้าจะลดลง วงจรของสายไฟฟ้าหลายวงจรที่ติดตั้งใกล้กันจะต้องใช้ตัวคูณปรับค่า (Rating Factor)

7.3 พิกัดการนำกระแสสายไฟฟ้า ตามมาตรฐาน IEC

เนื่องจากการนำกระแสของสายไฟฟ้ามีความสำคัญมาก IEC จึงได้จัดทำมาตรฐานเกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ IEC 60287 Electric Cables (Calculation of the Current Rating), IEC 60364–5–52 Low-voltage electrical installations Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment-wiring systems การติดตั้งสายไฟฟ้า (Installation Methods) ทำได้หลายแบบตาม British Standard อาจทำได้มากกว่า 120 วิธี แต่สำหรับพิกัดกระแสสายไฟฟ้านั้น การติดตั้งไฟฟ้านั้นมีวิธีใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสามารถจัดเป็นกลุ่มเดียวกันได้เรียกว่า Reference Method แบ่งเป็น A, B, C, D, E, F และ G

ค่าพิกัดกระแสสายไฟฟ้าของ IEC ตามตารางใช้สำหรับ 1 วงจร ถ้ามีวงจรมากขึ้น และสภาพเปลี่ยนไป จะต้องใช้ตัวคูณปรับค่า Rating Factors ซึ่งมีอยู่หลายตาราง พิกัดกระแสไฟฟ้าของ IEC หลายประเทศได้นำไปปรับแต่งให้เหมาะสมกับการใช้งานของประเทศของตน มาตรฐานพิกัดสายไฟฟ้าของประเทศที่ทำได้สมบูรณ์ คือ British Standard BS 7671 Requirements for Electrical Installations ส่วนที่เกี่ยวกับพิกัดกระแสสายไฟฟ้า คือ Appendix 4 Current–Carrying Capacity and Voltage Drop for Cables

7.4 พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าตามสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.)

การปรับปรุงตารางพิกัดกระแสสายไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า มาตรฐานเก่าสายไฟฟ้าใช้ตาม มอก.11-2531 เมื่อทางกระทรวงอุตสาหกรรมได้ยกเลิก มอก.11-2531 และให้ใช้ มอก.11-2553 ตารางพิกัดกระแสเดิมจึงใช้ไม่ได้ จึงได้มีการปรับปรุงมาตรฐานการติดตั้ง และจัดทำตารางขึ้นมาใหม่ตามหลักการของมาตรฐาน IEC และ BS และได้ปรับปรุงตารางต่างๆ เพื่อให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย การปรับปรุงมีดังนี้

Ambient Temperature

Air	จาก	30 °C	เป็น	40 °C
Underground	จาก	20 °C	เป็น	30 °C
Soil Thermal Resistivity	จาก	2.5 K.m/W	เป็น	1.0 K.m/W

Reference Method ลักษณะการติดตั้งกลุ่มที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

7.5 วิธีการติดตั้ง

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. ฉบับปรับปรุงมีรูปแบบการติดตั้ง และลักษณะการติดตั้งสายไฟฟ้า แบ่งเป็น 7 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1

สายแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี / ไม่มีเปลือกนอก

เดินในช่องเดินสายโลหะ หรืออโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อนหรือผนังกันไฟ

กลุ่มที่ 2

สายแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี / ไม่มีเปลือกนอก

เดินในช่องเดินสายโลหะ หรืออโลหะเดินเกาะผนังหรือฝังในผนังคอนกรีต หรือที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 3

สายแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก
เดินเกาะผนังหรือเพดานที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 4

สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี / ไม่มีเปลือกนอก
วางเรียงแบบมีระยะห่างเดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

กลุ่มที่ 5

สายแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก
เดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝังดิน

กลุ่มที่ 6

สายแกนเดียว หรือหลายแกน หุ้มฉนวนมีเปลือกนอก
ฝังดินโดยตรง

กลุ่มที่ 7

สายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก
วางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ, รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได

7.6 ตารางพิกัดสายไฟฟ้าของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.)

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. มีตารางที่เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าอยู่ 30 ตาราง คือ ตารางที่ 5 - 8 และตารางที่ 5 - 20 ถึง 5 - 48

โดยทั่วไป ใต้ตารางจะมีหมายเหตุ ผู้เขียนได้ตัดหมายเหตุออก ผู้อ่านสามารถหาได้จากมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า วสท.

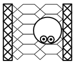
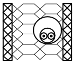
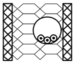
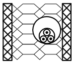
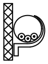
ตารางที่ 5-8

ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแส
ในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันมากกว่า 1 กลุ่มวงจร

จำนวนกลุ่มวงจร	ตัวคูณปรับค่า
2	0.80
3	0.70
4	0.65
5	0.60
6	0.57
7	0.54
8	0.52
9	0.50
10-12	0.45
13-16	0.41
17-20	0.38

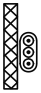
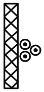
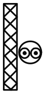
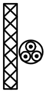
ตารางที่ 5-20

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินในช่องเดินสายในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3		2		3	
ลักษณะตัวนำกระแส	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น							
ขนาดสาย(ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)							
1	10	10	9	9	12	11	10	10
1.5	13	12	12	11	15	14	13	13
2.5	17	16	16	15	21	20	18	17
4	23	22	21	20	28	26	24	23
6	30	28	27	25	36	33	31	30
10	40	37	37	34	50	45	44	40
16	53	50	49	45	66	60	59	54
25	70	65	64	59	88	78	77	70
35	86	80	77	72	109	97	96	86
50	104	96	94	86	131	116	117	103
70	131	121	118	109	167	146	149	130
95	158	145	143	131	202	175	180	156
120	183	167	164	150	234	202	208	179
150	209	191	188	171	261	224	228	196
185	238	216	213	194	297	256	258	222
240	279	253	249	227	348	299	301	258
300	319	291	285	259	398	343	343	295
400	-	-	-	-	475	-	406	-
500	-	-	-	-	545	-	464	-

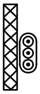
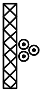
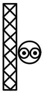
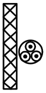
ตารางที่ 5-21

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 หรือ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินเกาะผนังในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 3				
จำนวนตัวนำกระแส	2	ไม่เกิน 3		ไม่เกิน 3	
ลักษณะสาย	แบน	กลม		กลม	
ลักษณะตัวนำกระแส	หลายแกน	แกนเดียว		หลายแกน	
ประเภทฉนวน	พีวีซี	พีวีซี	ครอสลิงกด์พอลิ-เอทิลีน	พีวีซี	ครอสลิงกด์พอลิ-เอทิลีน
อุณหภูมิตัวนำ	70 °C	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C
รูปแบบการติดตั้ง		หรือ		 หรือ	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	VAF, VAF-G	NYY, IEC 60502-1	IEC 60502-1	NYY, NYY-G 60227 IEC 10, IEC 60502-1	IEC 60502-1
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
1	14	12	16	12	15
1.5	17	16	21	15	20
2.5	23	22	28	21	27
4	32	29	37	28	36
6	41	37	49	36	47
10	56	51	67	50	65
16	74	69	90	66	87
25	-	90	118	84	108
35	-	112	147	104	134
50	-	145	190	125	163

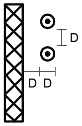
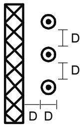
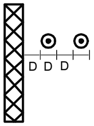
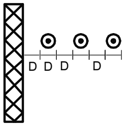
ตารางที่ 5-21

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 หรือ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินเกาะผนังในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 3				
จำนวนตัวนำกระแส	2	ไม่เกิน 3		ไม่เกิน 3	
ลักษณะสาย	แบน	กลม		กลม	
ลักษณะตัวนำกระแส	หลายแกน	แกนเดียว		หลายแกน	
ประเภทฉนวน	พีวีซี	พีวีซี	ครอสลิงกด์พอลิ-เอทิลีน	พีวีซี	ครอสลิงกด์พอลิ-เอทิลีน
อุณหภูมิตัวนำ	70 °C	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C
รูปแบบการติดตั้ง		หรือ		 หรือ	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	VAF, VAF-G	NYY, IEC 60502-1	IEC 60502-1	NYY, NYY-G 60227 IEC 10, IEC 60502-1	IEC 60502-1
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
70	-	186	244	160	208
95	-	227	297	194	253
120	-	264	345	225	293
150	-	304	397	260	338
185	-	348	455	297	386
240	-	411	537	351	455
300	-	474	620	404	524
400	-	552	722	-	-
500	-	629	823	-	-

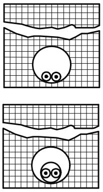
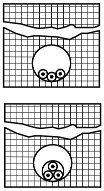
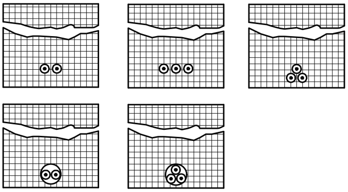
ตารางที่ 5-22

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนพีวีซี มอก.11-2553 สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 4	
รูปแบบการติดตั้ง	 หรือ 	 หรือ 
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 01, 60227 IEC 10, NYY	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
4	30	37
6	39	48
10	56	67
16	78	92
25	113	127
35	141	157
50	171	191
70	221	244
95	271	297
120	315	345
150	365	397
185	418	453
240	495	535
300	573	617
400	692	741

ตารางที่ 5-23

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 30 °C ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 5		กลุ่มที่ 6
จำนวนตัวนำกระแส	2	3	ไม่เกิน 3
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว / หลายแกน	แกนเดียว / หลายแกน	แกนเดียว / หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง			
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	NYY, NYY-G, ตามมาตรฐาน IEC 60502-1		
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)		
1	17	15	21
1.5	21	19	26
2.5	28	25	35
4	36	33	45
6	46	41	57
10	62	55	76
16	81	72	99
25	106	94	128
35	129	114	154
50	153	136	181
70	190	168	223
95	232	204	267
120	265	234	304
150	303	266	342
185	344	303	386
240	404	361	448
300	462	404	507
400	529	462	577
500	605	527	654

ตารางที่ 5-24

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 300/500 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 หรือ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินในอากาศ

อุณหภูมิตัวนำ	70 °C	90 °C
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 05, 60227 IEC 06	60227 IEC 07, 60227 IEC 08
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
0.5	3	3
0.75	6	6
1	10[2)]	10
1.5	-	16
2.5	-	25

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-24)

1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าดังต่อไปนี้

- สำหรับสายหุ้มฉนวนพีวีซี 70 °C

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55
ตัวคูณปรับค่า	1.11	1.00	0.87	0.71	0.50

- สำหรับสายหุ้มฉนวนพีวีซี 90 °C

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	31-50	51-55	56-60	61-65	66-70
ตัวคูณปรับค่า	1.00	0.96	0.83	0.67	0.47

2) ค่าขนาดกระแสเฉพาะรหัสเคเบิล 60227 IEC 06 เท่านั้น

3) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48

ตารางที่ 5-25

ขนาดกระแสของสายอ่อน (flexible cord) ตัวนำทองแดงหลายแกนหุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 300/500 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 หรือ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินในอากาศ

จำนวนตัวนำกระแส	2	3
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 52, 60227 IEC 53, 60227 IEC 56, 60227 IEC 57	
ขนาดสาย(ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
0.5	3	3
0.75	6	6
1	10	10
1.5	16	16
2.5	25	20

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-25)

1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าดังต่อไปนี้

- สำหรับสายหุ้มฉนวนพีวีซี 70 °C

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55
ตัวคูณปรับค่า	1.11	1.00	0.87	0.71	0.50

- สำหรับสายหุ้มฉนวนพีวีซี 90 °C

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	31-50	51-55	56-60	61-65	66-70
ตัวคูณปรับค่า	1.00	0.96	0.83	0.67	0.47

2) สายอ่อนตัวนำทินเซล ที่มีรหัสเคเบิล 60227 IEC 41 มีค่าขนาดกระแส = 0.7 แอมแปร์ ที่อุณหภูมิตัวนำ 70 °C และอุณหภูมิโดยรอบ 40 °C

3) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48

ตารางที่ 5-26

ขนาดกระแสของสายเคเบิลอ่อน (flexible cable) ตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินในอากาศ

จำนวน/ลักษณะ ตัวนำกระแส	เคเบิล 1 แกน 2 เส้น หรือ เคเบิล 2 แกน 1 เส้น มี/ไม่มี สายดิน	เคเบิล 3 แกน, 4 แกน หรือ 5 แกน
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 02, VCT, VCT-G	VCT, VCT-G
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
1.5	16	-
2.5	25	-
4	30	26
6	39	34
10	51	47
16	73	63
25	97	83
35	140	102
50	175	-
70	216	-
95	258	-
120	302	-
150	347	-
185	394	-
240	471	-

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-26)

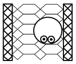
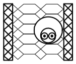
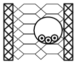
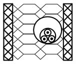
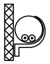
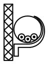
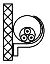
1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าดังต่อไปนี้

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55
ตัวคูณปรับค่า	1.11	1.00	0.87	0.71	0.50

2) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48

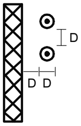
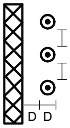
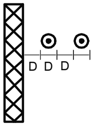
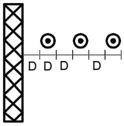
ตารางที่ 5-27

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินร้อยในท่อในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3		2		3	
ลักษณะตัวนำกระแส	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น							
ขนาดสาย(ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)							
1	13	13	12	12	15	15	14	14
1.5	17	17	15	15	21	20	18	18
2.5	24	23	21	20	28	27	25	24
4	32	30	28	27	38	36	34	32
6	41	38	36	35	49	46	44	40
10	56	52	49	46	68	63	60	55
16	74	69	66	62	91	83	80	73
25	96	90	86	81	121	108	106	96
35	119	110	106	99	149	133	131	116
50	144	132	128	118	180	159	159	140
70	182	167	163	149	230	201	202	177
95	219	200	197	179	278	241	245	212
120	253	230	227	207	322	278	284	244
150	289	264	259	236	358	304	311	273
185	329	299	295	268	409	349	349	309
240	386	351	346	315	480	418	410	362
300	442	402	396	360	549	484	468	414
400	-	-	-	-	622	-	531	-
500	-	-	-	-	713	-	606	-

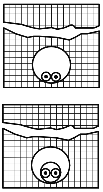
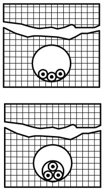
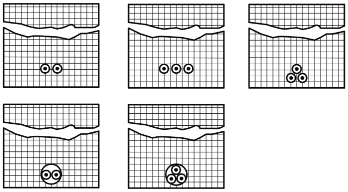
ตารางที่ 5-28

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแกนเดียวตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 4	
รูปแบบการติดตั้ง	 หรือ 	 หรือ 
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	ตามมาตรฐาน IEC 60502-1	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
4	47	54
6	60	68
10	82	90
16	110	124
25	147	166
35	183	206
50	224	250
70	289	321
95	354	391
120	413	455
150	480	525
185	551	602
240	654	711
300	758	821
400	917	987
500	1,064	1,140

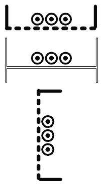
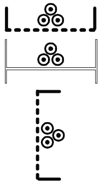
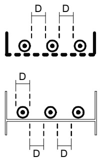
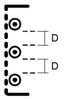
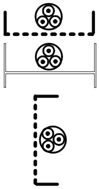
ตารางที่ 5-29

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 30 °C ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 5		กลุ่มที่ 6
จำนวนตัวนำกระแส	2	3	ไม่เกิน 3
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว / หลายแกน	แกนเดียว / หลายแกน	แกนเดียว / หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง			
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	IEC 60502-1		
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)		
1.5	25	22	33
2.5	33	29	43
4	43	38	55
6	54	47	70
10	71	63	92
16	94	83	119
25	124	109	152
35	150	132	184
50	180	159	217
70	223	196	266
95	271	238	318
120	313	275	362
150	355	312	406
185	406	356	459
240	477	418	533
300	543	475	601
400	625	545	684
500	717	623	777

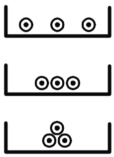
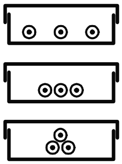
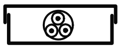
ตารางที่ 5-30

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7				
ลักษณะตัวนำกระแส	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง					
รหัสชนิด เคเบิลใช้งาน	60227 IEC 10, NYY, NYY-G และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น				
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
1	-	-	-	-	13
1.5	-	-	-	-	16
2.5	-	-	-	-	22
4	-	-	-	-	30
6	-	-	-	-	37
10	-	-	-	-	52
16	-	-	-	-	70
25	99	96	127	113	88
35	124	119	157	141	110
50	151	145	191	171	133
70	196	188	244	221	171
95	239	230	297	271	207
120	279	268	345	315	240
150	324	310	397	365	278
185	371	356	453	418	317
240	441	422	535	495	374
300	511	488	617	573	432
400	599	571	741	692	-
500	686	652	854	800	-

ตารางที่ 5-31

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลชนิดด้านล่างทึบ มี/ไม่มี ฝาปิด

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7			
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว		หลายแกน	
รูปแบบการติดตั้ง				
รหัสชนิด เคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 10, NYY, NYY-G, ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น			
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)			
1	-	-	12	10
1.5	-	-	15	13
2.5	-	-	21	17
4	-	-	28	23
6	-	-	36	30
10	-	-	50	40
16	-	-	66	54
25	90	77	84	70
35	112	96	104	86
50	145	117	125	103
70	186	149	160	130
95	227	180	194	156
120	264	208	225	179
150	304	228	260	196
185	348	258	297	222
240	411	301	351	258
300	474	343	404	295
400	552	406	-	-
500	629	464	-	-

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-31)

1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43

2) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร สำหรับรางเคเบิลแบบมีฝาปิดให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-31(ก) และสำหรับรางเคเบิลแบบไม่มีฝาปิดให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-41

ยกเว้น การจัดวางระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจรมากกว่าสองเท่าของผลรวมเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแส ไม่ต้องนำตัวคูณปรับค่าตามตารางมาพิจารณา

ตารางที่ 5-31(ก)

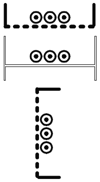
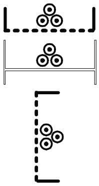
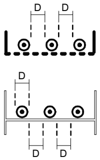
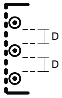
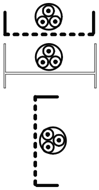
จำนวนกลุ่มวงจร	ตัวคูณปรับค่า
2	0.8
3	0.7
4	0.65
5	0.6
6	0.57
7	0.54
8	0.52
9	0.50
10-12	0.45
13-16	0.41
17-20	0.38

3) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47

4) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลใช้งาน ในตารางที่ 5-48

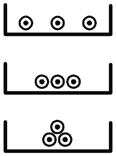
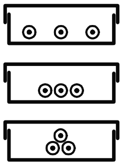
ตารางที่ 5-32

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7				
ลักษณะตัวนำกระแส	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง					
รหัสชนิด เคเบิลใช้งาน	IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น				
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
1	-	-	-	-	16
1.5	-	-	-	-	21
2.5	-	-	-	-	29
4	-	-	-	-	38
6	-	-	-	-	49
10	-	-	-	-	68
16	-	-	-	-	91
25	128	123	166	147	116
35	160	154	206	183	144
50	197	188	250	224	175
70	254	244	321	289	224
95	311	298	391	354	271
120	364	349	455	413	315
150	422	404	525	480	363
185	485	464	602	551	415
240	577	552	711	654	490
300	670	640	821	758	565
400	790	749	987	917	-
500	908	861	1,140	1,064	-

ตารางที่ 5-33

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลชนิดด้านล่างทึบ มี/ไม่มี ฝาปิด

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7			
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว		หลายแกน	
รูปแบบการติดตั้ง				
รหัสชนิด เคเบิลที่ใช้งาน	IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น			
ขนาดสาย(ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)			
1	-	-	15	14
1.5	-	-	20	18
2.5	-	-	27	24
4	-	-	36	32
6	-	-	47	40
10	-	-	65	55
16	-	-	87	73
25	118	106	108	96
35	147	131	134	116
50	190	159	163	140
70	244	202	208	177
95	297	245	253	212
120	345	284	293	244
150	397	311	338	273
185	455	349	386	309
240	537	410	455	362
300	620	468	524	414
400	722	531	-	-
500	823	606	-	-

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-33)

1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตาราง ที่ 5-43

2) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร สำหรับรางเคเบิลแบบมีฝาปิดให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-33(ก) และสำหรับรางเคเบิลแบบไม่มีฝาปิดให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-41

ยกเว้น การจัดวางระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจรมากกว่าสองเท่าของผลรวมเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแส ไม่ต้องนำตัวคูณปรับค่าตามตารางมาพิจารณา

ตารางที่ 5-33(ก)

จำนวนกลุ่มวงจร	ตัวคูณปรับค่า
2	0.8
3	0.7
4	0.65
5	0.6
6	0.57
7	0.54
8	0.52
9	0.50
10-12	0.45
13-16	0.41
17-20	0.38

3) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47

ตารางที่ 5-34

ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (Sheath) ทองแดง หุ้ม/ไม่หุ้มพีวีซี โดยเปลือกทองแดงสามารถสัมผัสได้ อุณหภูมิเปลือก 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C

ลักษณะการติดตั้ง		กลุ่มที่ 7					
ลักษณะการจัดวางสาย		เดินเกาะผนังในอากาศ, วางบนรางเคเบิลชนิดด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด			วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบบันได		
จำนวนตัวนำกระแสและรูปแบบการติดตั้ง		เคเบิลแกนเดียว 2 เส้น หรือ เคเบิล 2 แกน 1 เส้น วางชิดกัน	เคเบิลแกนเดียว 3 เส้น วางสามเหลี่ยมชิดกัน หรือ เคเบิล 3 แกน 1 เส้น	เคเบิลแกนเดียว 3 เส้น วางเรียงชิดกัน	เคเบิลแกนเดียว 2 เส้น หรือ เคเบิล 2 แกน 1 เส้น วางชิดกัน	เคเบิลแกนเดียว 3 เส้น วางสามเหลี่ยมชิดกัน หรือ เคเบิล 3 แกน 1 เส้น	เคเบิลแกนเดียว 3 เส้น วางเรียงชิดกัน
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้		IEC 60702, หรือ AS 3187					
ขนาดแรงดัน	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)					
500 V (รุ่นใช้งานเบา)	1	16	13	14	17	14	15
	1.5	20	16	18	21	18	20
	2.5	26	22	25	28	24	26
	4	34	30	32	37	31	35
750 V (รุ่นใช้งานหนัก)	1	17	14	15	18	15	17
	1.5	21	18	20	22	19	22
	2.5	29	24	26	31	26	29
	4	38	31	35	40	34	38
	6	48	41	44	51	43	48
	10	65	55	60	70	59	65
	16	87	73	78	93	78	87
	25	113	95	102	121	102	112
	35	139	116	125	148	125	137
	50	172	144	154	183	155	168
	70	210	176	188	224	190	205
	95	252	212	224	269	227	246
	120	289	243	258	309	262	281
	150	330	278	294	354	299	320
	185	374	315	333	401	339	362
	240	437	369	388	469	396	422

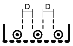
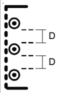
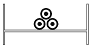
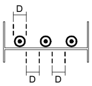
ตารางที่ 5-35

ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (Sheath) ทองแดง โดยเปลือกทองแดงไม่สามารถให้บุคคลสัมผัสหรือไม่สามารถสัมผัสกับวัสดุติดไฟได้ อุณหภูมิเปลือก 105 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C

ลักษณะการติดตั้ง		กลุ่มที่ 7					
ลักษณะการจัดวางสาย		เดินเกาะผนังในอากาศ, วางบนรางเคเบิลชนิดด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด			วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบบันได		
จำนวนตัวนำกระแสและรูปแบบการติดตั้ง		เคเบิลแกนเดียว 2 เส้น หรือ เคเบิล 2 แกน 1 เส้น วางชิดกัน	เคเบิลแกนเดียว 3 เส้น วางสามเหลี่ยมชิดกัน หรือ เคเบิล 3 แกน 1 เส้น	เคเบิลแกนเดียว 3 เส้น วางเรียงชิดกัน	เคเบิลแกนเดียว 2 เส้น หรือ เคเบิล 2 แกน 1 เส้น วางชิดกัน	เคเบิลแกนเดียว 3 เส้น วางสามเหลี่ยมชิดกัน หรือ เคเบิล 3 แกน 1 เส้น	เคเบิลแกนเดียว 3 เส้น วางเรียงชิดกัน
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้		IEC 60702, หรือ AS 3187					
ขนาดแรงดัน	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)					
500 V (รุ่นใช้งานเบา)	1	20	17	19	22	19	21
	1.5	26	22	25	29	24	27
	2.5	35	30	33	38	32	36
	4	47	40	43	50	42	47
750 V (รุ่นใช้งานหนัก)	1	22	18	22	24	20	23
	1.5	29	24	28	30	26	29
	2.5	39	32	38	41	35	40
	4	51	43	49	55	46	52
	6	64	54	62	70	59	65
	10	88	75	84	96	80	88
	16	117	98	109	126	106	117
	25	153	129	142	165	138	151
	35	187	157	172	202	169	184
	50	231	195	212	250	210	227
	70	282	239	258	306	257	276
	95	339	287	307	368	308	330
	120	390	330	352	423	354	378
	150	446	377	400	484	406	431
	185	506	428	453	548	460	488
	240	592	500	526	641	537	568

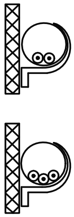
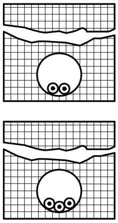
ตารางที่ 5-36

ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน เปลือกนอกพีวีซี มีชีลด์ ขนาดแรงดัน (U_0/U) ตั้งแต่ 3.6/6 กิโลโวลต์ ถึง 18/30 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือบนรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7								
จำนวนตัวนำกระแส	3								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้	ตามมาตรฐาน IEC 60502-2								
ชนิดรางเคเบิล	แบบระบายอากาศ						แบบบันได		
รูปแบบการติดตั้ง									
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)								
50	217	217	255	อยู่ระหว่างการพิจารณา	217	อยู่ระหว่างการพิจารณา	221	217	260
70	270	269	317		269		276	269	324
95	329	329	387		329		336	329	395
120	380	379	446		379		388	379	455
150	429	430	499		430		438	430	509
185	490	494	568		494		501	494	580
240	577	583	664		583		589	583	678
300	659	669	754		669		672	669	770
400	746	769	837		769		762	769	854

ตารางที่ 5-37

ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน เปลือกนอกพีวีซี มีชีลด์ ขนาดแรงดัน (U_0/U) ตั้งแต่ 3.6/6 กิโลโวลต์ ถึง 18/30 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C (เดินร้อยในท่อในอากาศ) และ 30 °C (ร้อยท่อฝังดิน)

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 5
จำนวนตัวนำกระแส	ไม่เกิน 3	
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว	
รูปแบบการติดตั้ง		
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	ตามมาตรฐาน IEC 60502-2	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
35	148	149
50	175	178
70	215	218
95	265	265
120	303	303
150	348	341
185	396	386
240	478	454
300	551	521
400	636	607
500	730	706

ตารางที่ 5-38

ขนาดกระแสสายเคเบิลตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 30 °C ขนาดแรงดัน (U_0/U) 3.6/6 ถึง 18/30 กิโลโวลต์ เดินใน duct bank ไม่เกิน 8 ท่อ

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแสต่อ 1 วงจร (แอมแปร์)							
	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

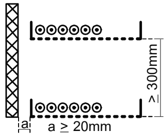
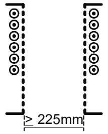
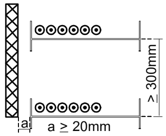
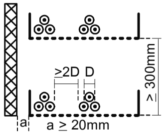
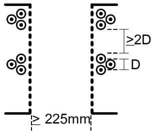
ตารางที่ 5-39

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าเครื่องเชื่อม (ตัวนำทองแดง) ตาม มอก.448-2525

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์) วัฏจักรทำงานสูงสุด *, ร้อยละ				
	100	60	30	25	20
10	87	110	160	175	195
16	115	150	215	235	260
25	155	200	285	315	350
35	195	250	355	390	440
50	250	320	450	495	560
70	310	400	560	620	690
95	375	485	685	750	840
120	435	570	790	870	970
150	510	660	930	1,020	1,140
185	570	740	1,040	1,150	1,280
240	680	880	1,240	1,360	1,520

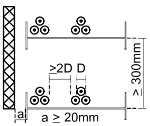
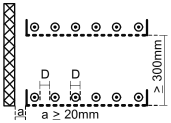
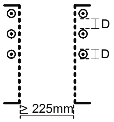
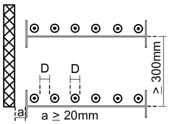
ตารางที่ 5-40

ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว วางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

วิธีการติดตั้ง		จำนวนรางเคเบิล	จำนวนกลุ่มวงจรต่อรางเคเบิล						ลักษณะการจัดเรียงเคเบิล
			1	2	3	4	5-6	7-9	
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2)		1 2 3	1.00 0.96 0.95	0.91 0.87 0.85	0.87 0.81 0.78	0.82 0.78 0.75	0.78 0.74 0.70	0.77 0.69 0.65	รูปแบบวางชิดกันในแนวนอน
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (หมายเหตุ 3)		1 2	1.00 0.95	0.86 0.84	0.80 0.77	0.75 0.72	0.71 0.67	0.70 0.66	รูปแบบวางชิดกันในแนวตั้ง
รางเคเบิลแบบบันได (หมายเหตุ 2)		1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	0.94 0.88 0.83	0.93 0.86 0.80	0.92 0.83 0.77	รูปแบบวางชิดกันในแนวนอน
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2)		1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86	0.93 0.85 0.82	0.89 0.80 0.76	- - -	รูปแบบวางชิดกันแบบสามเหลี่ยมห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (หมายเหตุ 3)		1 2	1.00 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86	0.88 0.85	0.87 0.83	- -	

ตารางที่ 5-40 (ต่อ)

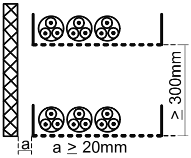
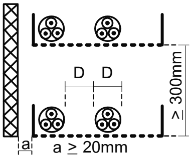
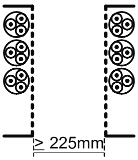
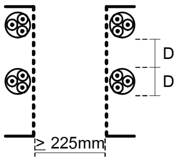
ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว วางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

วิธีการติดตั้ง		จำนวนรางเคเบิล	จำนวนกลุ่มวงจรต่อรางเคเบิล						ลักษณะการจัดเรียงเคเบิล
			1	2	3	4	5-6	7-9	
รางเคเบิลแบบบันได (หมายเหตุ 2)		1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90	1.00 0.92 0.89	1.00 0.91 0.86	- -	รูปแบบวางชิดกันแบบสามเหลี่ยม ห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2)		1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.93 0.89 0.88	0.90 0.85 0.82	0.87 0.81 0.78	0.83 0.76 0.72	- - -	
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (หมายเหตุ 3)		1 2	1.00 0.94	0.91 0.90	0.89 0.86	0.88 0.85	0.87 0.83	- -	รูปแบบวางห่างกันไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล
รางเคเบิลแบบบันได (หมายเหตุ 2)		1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.97 0.94 0.93	0.96 0.93 0.92	0.96 0.92 0.91	0.96 0.91 0.88	- - -	

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-40)
1) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการวางสายไฟฟ้าชั้นเดียวเท่านั้น
2) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวนอนที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวดิ่งไม่น้อยกว่า 300 มม. และติดตั้งรางเคเบิลห่างจากผนังไม่น้อยกว่า 20 มม. เท่านั้น
3) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวดิ่งที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวราบไม่น้อยกว่า 225 มม. เท่านั้น
4) ในกรณีที่จำนวนรางเคเบิลมากกว่าหนึ่งราง ตัวคูณปรับค่าให้คิดจากรางเคเบิลที่มีกลุ่มวงจรมากที่สุด

ตารางที่ 5-41

ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลหลายแกน วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ แบบด้านล่างทึบ หรือแบบบันได เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

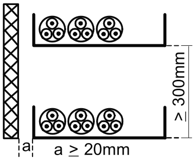
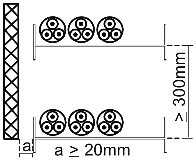
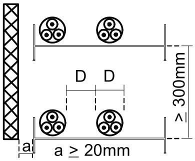
วิธีการติดตั้ง		จำนวนรางเคเบิล	จำนวนเคเบิลต่อรางเคเบิล					
			1	2	3	4	5-6	7-9
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2)		1	1.0	0.88	0.82	0.77	0.73	0.72
		2	1.0	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68
		3	1.0	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66
		4-6	1.0	0.84	0.77	0.73	0.68	0.64
		1	1.0	1.0	0.98	0.95	0.91	-
		2	1.0	0.99	0.96	0.92	0.87	-
		3	1.0	0.98	0.95	0.91	0.85	-
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (หมายเหตุ 3)		1	1.0	0.88	0.82	0.77	0.73	0.72
		2	1.0	0.88	0.81	0.76	0.71	0.70
		1	1.0	0.91	0.89	0.88	0.87	-
		2	1.0	0.91	0.88	0.87	0.85	-

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-41)

1) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการวางสายไฟฟ้าชั้นเดียวเท่านั้น
2) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวนอนที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวดิ่งไม่น้อยกว่า 300 มม. และติดตั้งรางเคเบิลห่างจากผนังไม่น้อยกว่า 20 มม. เท่านั้น
3) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวดิ่งที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวราบไม่น้อยกว่า 225 มม. เท่านั้น
4) ในกรณีที่จำนวนรางเคเบิลมากกว่าหนึ่งราง ตัวคูณปรับค่าให้คิดจากรางเคเบิลที่มีกลุ่มวงจรมากที่สุด

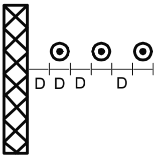
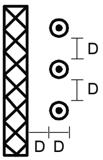
ตารางที่ 5-41 (ต่อ)

ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลหลายแกน วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ แบบด้านล่างทึบ หรือแบบบันได เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

วิธีการติดตั้ง		จำนวนรางเคเบิล	จำนวนเคเบิลต่อรางเคเบิล					
			1	2	3	4	5-6	7-8
รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (หมายเหตุ 2)		1 2 3 4-6	0.97 0.97 0.97 0.97	0.84 0.83 0.82 0.81	0.78 0.76 0.75 0.73	0.75 0.72 0.71 0.69	0.71 0.68 0.66 0.63	0.68 0.63 0.61 0.58
รางเคเบิลแบบบันได (หมายเหตุ 2)		1 2 3 4-6	1.0 1.0 1.0 1.0	0.87 0.86 0.85 0.84	0.82 0.80 0.79 0.77	0.80 0.78 0.76 0.73	0.79 0.76 0.73 0.68	0.78 0.73 0.70 0.64
		1 2 3	1.0 1.0 1.0	1.0 0.99 0.98	1.0 0.98 0.97	1.0 0.97 0.96	1.0 0.96 0.93	- - -

ตารางที่ 5-42

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนพีวีซีตาม มอก.293-2541 ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

รูปแบบการติดตั้ง		
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
25	97	86
35	121	108
50	147	132
70	189	171
95	231	210
120	268	245
150	310	284
185	354	327
240	419	389
300	485	452
400	584	547
500	674	635

ตารางที่ 5-43

ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	ฉนวน			
	PVC	XLPE หรือ EPR	เอ็มไอ	
			70 °C	105 °C
11-15	1.34	1.23	1.41	1.21
16-20	1.29	1.19	1.34	1.16
21-25	1.22	1.14	1.26	1.13
26-30	1.15	1.10	1.18	1.09
31-35	1.08	1.05	1.09	1.04
36-40	1.00	1.00	1.00	1.00
41-45	0.91	0.96	0.91	0.96
46-50	0.82	0.90	0.79	0.91
51-55	0.70	0.84	0.67	0.87
56-60	0.57	0.78	0.53	0.82
61-65	-	0.71	-	0.76
66-70	-	0.64	-	0.70
71-75	-	0.55	-	0.65
76-80	-	0.45	-	0.59
81-85	-	-	-	0.51
86-90	-	-	-	0.43
91-95	-	-	-	0.35

ตารางที่ 5-44

ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบแตกต่างจาก 30 °C ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินใต้ดิน

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	ฉนวน	
	PVC	XLPE หรือ EPR
11-15	1.18	1.12
16-20	1.12	1.08
21-25	1.07	1.03
26-30	1.0	1.0
31-35	0.94	0.96
36-40	0.87	0.91
41-45	0.80	0.86
46-50	0.71	0.82
51-55	0.62	0.76
56-60	0.51	0.70
61-65	-	0.65
66-70	-	0.57
71-75	-	0.49
76-80	-	0.41

ตารางที่ 5-45

ตัวคูณปรับค่าสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกน ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ ฝังดินโดยตรง เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ

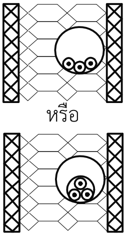
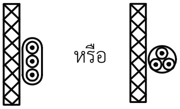
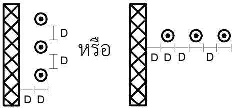
จำนวนวงจร	ระยะห่างระหว่างผิวด้านนอกเคเบิล แต่ละวงจร (มม.)				
	วางชิดกัน	เส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล 1 เส้น	125	250	500
2	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80

ตารางที่ 5-46

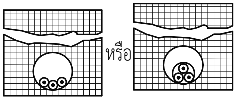
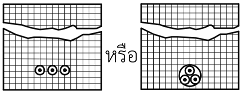
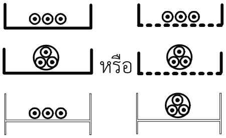
ตัวคูณปรับค่าสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกน ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ ร้อยท่อฝังดินโดยตรง เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ

จำนวนวงจร	ระยะห่างระหว่างผิวด้านนอกท่อ แต่ละวงจร (มม.)			
	วางชิดกัน	250	500	1,000
2	0.85	0.90	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.90	0.95
4	0.70	0.80	0.85	0.90
5	0.65	0.80	0.85	0.90
6	0.60	0.80	0.80	0.90

ตารางที่ 5-47
รูปแบบการติดตั้งอ้างอิง

วิธีการเดินสาย	รูปแบบการติดตั้ง	ลักษณะการติดตั้ง	หมายเหตุ
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ		กลุ่มที่ 1	ฝ้าเพดาน หรือผนังกันไฟที่เป็นฉนวนความร้อนคือวัสดุที่มีค่าการนำทางความร้อน (thermal con-ductance) อย่างน้อย 10 W/m^2•K*
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะเดินเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน		กลุ่มที่ 2	กรณีฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกันผนังนั้นจะต้องมีค่าความต้านทานความร้อน (thermal resistivity) ไม่เกิน 2 K•m/W
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินเกาะผนังหรือเพดาน ที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน		กลุ่มที่ 3	-
สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกันแบบมีระยะห่าง เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ		กลุ่มที่ 4	ระยะห่างถึงผนังและระหว่างเคเบิลไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล

ตารางที่ 5-47 (ต่อ)
รูปแบบการติดตั้งอ้างอิง

วิธีการเดินสาย	รูปแบบการติดตั้ง	ลักษณะการติดตั้ง	หมายเหตุ
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝังดิน		กลุ่มที่ 5	-
สายแกนเดียว หรือหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง		กลุ่มที่ 6	-
สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ, รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได		กลุ่มที่ 7	รางเคเบิลแบบระบายอากาศจะต้องมีพื้นที่รูระบายอากาศไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นผิวรางเคเบิลทั้งหมด

ตารางที่ 5-48

ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553

รหัสชนิดเคเบิล/ชื่อเรียก	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ลักษณะตัวนำ	จำนวนแกน	อุณหภูมิตัวนำ	เปลือกนอก	แรงดันไฟฟ้า U_o/U (โวลต์)	การใช้งาน
60227 IEC 01	1.5-400	เดี่ยวแข็ง (Solid) หรือ ตีเกลียว (Stranded)	แกนเดียว	70°C	ไม่มี	450/750	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 02	1.5-240	ฝอย (Flexible)	แกนเดียว	70°C	ไม่มี	450/750	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 05	0.5-1.0	เดี่ยวแข็ง (Solid)	แกนเดียว	70°C	ไม่มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 06	0.5-1.0	ฝอย (Flexible)	แกนเดียว	70°C	ไม่มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 07	0.5-2.5	เดี่ยวแข็ง (Solid)	แกนเดียว	90°C	ไม่มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

ตารางที่ 5-48 (ต่อ)

ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553

รหัสชนิดเคเบิล/ชื่อเรียก	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ลักษณะตัวนำ	จำนวนแกน	อุณหภูมิตัวนำ	เปลือกนอก	แรงดันไฟฟ้า U_o/U (โวลต์)	การใช้งาน
60227 IEC 08	0.5-2.5	ฝอย (Flexible)	แกนเดียว	90°C	ไม่มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 10	1.5-35	ตีเกลียว (Stranded)	หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)	70°C	มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • วางบนรางเคเบิล • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 41	0.8	ตีเกลียว (Stranded)	2 แกน	70°C	ไม่มี	300/300	• ใช้งานภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
60227 IEC 43	0.5-0.75	ฝอย (Flexible)	1 แกน	70°C	มี	300/300	• ใช้ต่อไฟประดับตกแต่งภายในอาคาร
60227 IEC 52	0.5-0.75	ฝอย (Flexible)	หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)	70°C	มี	300/300	• ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ • ใช้งานภายในเครื่องใช้ไฟฟ้า
60227 IEC 53	0.75-2.5	ฝอย (Flexible)	หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)	70°C	มี	300/500	• ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ (ใช้งานหนัก) • ใช้ต่อเข้าดวงโคม
60227 IEC 56	0.5-0.75	ฝอย (Flexible)	หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)	90°C	มี	300/300	• ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ (ใช้งานหนัก)

ตารางที่ 5-48 (ต่อ)

ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553

รหัสชนิดเคเบิล/ชื่อเรียก	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ลักษณะตัวนำ	จำนวนแกน	อุณหภูมิตัวนำ	เปลือกนอก	แรงดันไฟฟ้า U_0/U (โวลต์)	การใช้งาน
60227 IEC 57	0.75-2.5	ฝอย (Flexible)	หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)	90°C	มี	300/500	• ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ (ใช้งานหนัก) • ใช้ในดวงโคมไฟฟ้าที่มี/ไม่มีบัลลาสต์ • ใช้ในป้ายโฆษณา/ป้ายไฟฟ้า
NYY	1-500	ตีเกลียว (Stranded)	แกนเดี่ยว	70°C	มี	450/750	• ใช้งานทั่วไป • วางบนรางเคเบิล • ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
	1-300		หลายแกน				
NYY-G	1-300		หลายแกน มีสายดิน				
VAF VAF-G	1-16	เดี่ยวแข็ง (Solid) หรือตีเกลียว (Stranded)	2 แกน 2 แกน มีสายดิน	70°C	มี	300/500	• เดินเกาะผนัง • เดินในช่องเดินสาย ห้ามร้อยท่อ • ห้ามฝังดิน
VCT VCT-G	1-35	ฝอย (Flexible)	แกนเดี่ยว หลายแกน และ หลายแกน มีสายดิน	70°C	มี	450/750	• ใช้งานทั่วไป • ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า • วางบนรางเคเบิล • ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

บทที่ 8

การคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าตามกลุ่มการติดตั้งที่ 2, 5 และ 7

8.1 บทนำ

การเลือกชนิด และขนาดของสายไฟฟ้าสำหรับงานหนึ่งๆ มีความสำคัญมาก ช่างและวิศวกรจะต้องเกี่ยวข้องกับการเลือกขนาดสายไฟฟ้าตลอดชีวิตการทำงาน ดังนั้นช่างและวิศวกรต้องศึกษา และฝึกหัดการคำนวณการเลือกขนาดสายไฟฟ้าให้เข้าใจถ่องแท้

วิธีการติดตั้ง และตารางพิกัดสายไฟฟ้า อยู่ในบทที่ 5 ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. บทนี้มีความสำคัญมาก ช่างและวิศวกรต้องศึกษาให้เข้าใจหลักการต่างๆ ของบทนี้เพื่อให้สามารถคำนวณ และเลือกได้อย่างถูกต้อง

การติดตั้งทางไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 7 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีพิกัดกระแสไฟฟ้าต่างกันตามตารางพิกัดกระแสสายไฟฟ้า กลุ่มการติดตั้งที่ใช้มากที่สุด คือ กลุ่มการติดตั้งที่ 2, 5 และ 7

8.2 ขั้นตอนการคำนวณ

การคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้า ทำได้อย่างมีระบบอาจแบ่งการคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าเป็น 7 ขั้นตอน

- ช่าง หรือ วิศวกรใหม่ ควรทำตามขั้นตอนที่ให้ไว้
- สำหรับวิศวกรอาวุโส หรือช่างที่ชำนาญแล้วอาจละเลยบางขั้นตอนได้

- ช่างหรือวิศวกรทุกท่าน ควรต้องคำนวณเอง หลายๆ ครั้งเพื่อให้เกิดความเข้าใจ และความชำนาญ

ขั้นตอนการหาขนาดของสายไฟฟ้า

1. กำหนดกระแสออกแบบ Design Current (I_b) หรือกระแสโหลด (I_L)
2. กำหนดขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (I_n)
3. เลือกกลุ่มการติดตั้ง
4. เลือกชนิดของสายไฟฟ้า
    - ชนิดฉนวน PVC, XLPE
    - จำนวนแกน 1, 2, 3, 4 แกน
    - เลือกตารางที่จะใช้
5. หาตัวคูณปรับค่า

    C_a = ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบ

    C_g = ตัวคูณปรับค่าจำนวนกลุ่มวงจร
6. หากระแสไฟฟ้า

    $I_t = I_n / (C_a \times C_g)$
7. เลือกขนาดสายไฟฟ้าจากตารางที่เลือกไว้ โดยพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าต้องมากกว่าค่า I_t

8.3 การเลือกขนาดชนิด สายไฟฟ้าตามการติดตั้งกลุ่มที่ 2

การติดตั้งกลุ่มที่ 2

สายแกนเดี่ยว หรือหลายแกน หุ้มฉนวน มี / ไม่มีเปลือกนอก เดินในช่องเดินสายโลหะ หรืออโลหะ เดินเกาะผนัง หรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีต หรือที่คล้ายกัน

- การเดินสายในช่องเดินสายในอากาศอยู่กลุ่มที่ 2 มีใช้มากที่สุดต้องศึกษาให้เข้าใจ
- พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าในท่อโลหะ และอโลหะจะเหมือนกัน
- พิกัดกระแสแยกเป็น

  ไฟฟ้า 1 เฟส ตัวนำกระแส 2 เส้น

  ไฟฟ้า 3 เฟส ตัวนำกระแส 3 เส้น

  ระบบไฟฟ้า 3 ph, 4w ถือว่ามีตัวนำกระแส 3 เส้น
- พิกัดกระแสยังแยกเป็น

  สายแกนเดียว พิกัดกระแส มีค่าสูง

  สายหลายแกน พิกัดกระแส มีค่าต่ำ

  ไฟฟ้า 1 เฟส ตัวนำ 2 เส้น = 1 กลุ่มวงจร

  ไฟฟ้า 3 เฟส ตัวนำ 3, 4 เส้น = 1 กลุ่มวงจร
- พิกัดกระแสมี 2 ตาราง คือ

  สาย PVC 70 °C ตารางที่ 5 - 20

  สาย XLPE 90 °C ตารางที่ 5 - 27

สายไฟฟ้าที่อนุญาตให้ใช้ได้

1) สาย PVC 70 °C ตารางที่ 5 - 20 IEC 01, IEC 02, IEC 05, IEC 06, IEC 10, NYY, NYY - G, VCT, VCT - G

2) สาย XLPE 90 °C ตารางที่ 5 - 27 IEC 60502 - 1 สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย

- เมื่อต้องการเดินสายไฟฟ้า มากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในท่อเดียวกัน ต้องมีตัวคูณปรับค่าตาม ตารางที่ 5 - 8

การเดินสายไฟฟ้าในรางเดินสาย Wireways

- การเดินสายไฟฟ้าแบบนี้ นิยมใช้มากเนื่องจากทำงานง่าย และประหยัด
- อนุญาตให้ใช้ในที่เปิดโล่ง ซึ่งเข้าถึงได้เพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาตลอด

ความยาว

- ขนาดใหญ่สุด 150 mm x 300 mm
- สายแกนเดี่ยวของวงจรเดียวกันรวมทั้งสายดินต้องวางเป็นกลุ่มเดียวกัน แล้วมัดรวมเข้าด้วยกัน
- พิกัดกระแสใน Wireways อยู่ในกลุ่มที่ 2

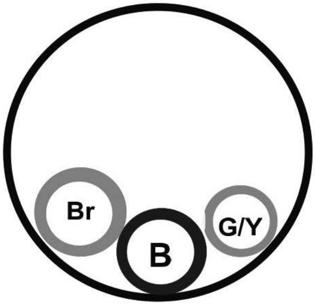
สาย PVC ตารางที่ 5 - 20, สาย XLPE ตารางที่ 5 - 27

- พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้าต้องไม่เกิน 20 % ของพื้นที่หน้าตัดรางเดินสาย
- ถ้าตัวนำกระแสไม่เกิน 30 เส้น พิกัดกระแสคิดตัวนำกระแส 3 เส้นในท่อ ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่า

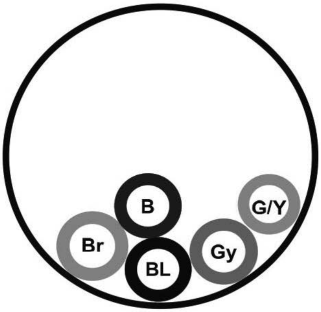
ตัวอย่างที่ 8.1

สาย IEC 01, NYY 1/C, ขนาด 4 mm^2 ตัวนำกระแส 2, 3 ให้หาพิกัดกระแส

2 ตัวนำกระแส



3 ตัวนำกระแส



สาย PVC

ตารางที่ 5 - 20

วิธีทำ

จากตารางที่ 5 - 20

ตัวนำกระแส = 2

สาย IEC 01, NYY 1/C 2 x 4 mm^2 I = 28 A

ตัวนำกระแส = 3

สาย IEC 01, NYY 1/C 4 x 4 mm^2 I = 24 A

ตัวอย่างที่ 8.2

การติดตั้งกลุ่มที่ 2 สาย XLPE 1/C, ขนาด 4 mm² ตัวนำกระแส 2, 3 ให้หาพิกัดกระแส

วิธีทำ

จากตารางที่ 5 - 27

ตัวนำกระแส 2

สาย XLPE 1/C 2 x 4 mm² I = 38 A

ตัวนำกระแส 3

สาย XLPE 1/C 4 x 4 mm² I = 34 A

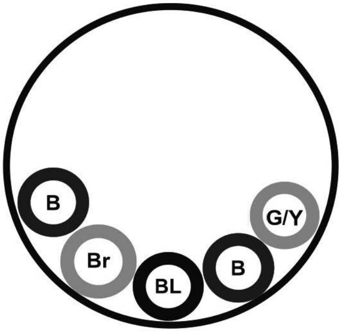
ตัวอย่างที่ 8.3

วงจรย่อย 1 ph, 2 w, 230 V ใช้สาย IEC 01 2 x 2.5 mm² เดินในท่อในอากาศ 1 วงจร 2 วงจร และ 3 วงจร ในท่อเดียวกันพิกัดกระแสจะเป็นเท่าใด ใช้ CB ขนาดเท่าใด

ถ้า 3 ph, 4 w ใช้ Neutral ร่วม จะเป็นอย่างไร

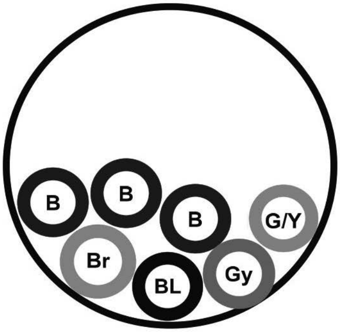
2 กลุ่มวงจร

C_g = 0.8



3 กลุ่มวงจร

C_g = 0.7



วิธีทำ

เดินท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

จากตารางที่ 5 - 20 ตัวนำกระแส 2

สาย IEC 01 2 x 2.5 mm² I = 21 A, CB = 20 AT

2 วงจร ในท่อเดียวกัน ตารางที่ 5 - 8 C_g = 0.8

I = 21 x 0.8 = 16.8 A, CB = 16 AT

3 วงจร ในท่อเดียวกัน ตารางที่ 5 - 8 C_g = 0.7

I = 21 x 0.7 = 14.7 A, CB = 10 AT

ถ้า 3 ph, 4 w ใช้ Neutral ร่วม

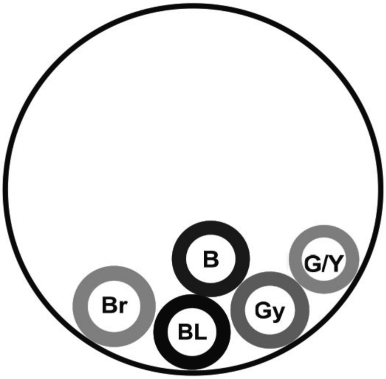
มีตัวกระแส 3 ตัว

3 ph, 4w 4 x 2.5 mm^2

ตารางที่ 5 - 20 ตัวนำกระแส 3

I = 18 A, CB = 16 AT

สายแกนเดียวระบบ 3 ph, 4w



สาย PVC

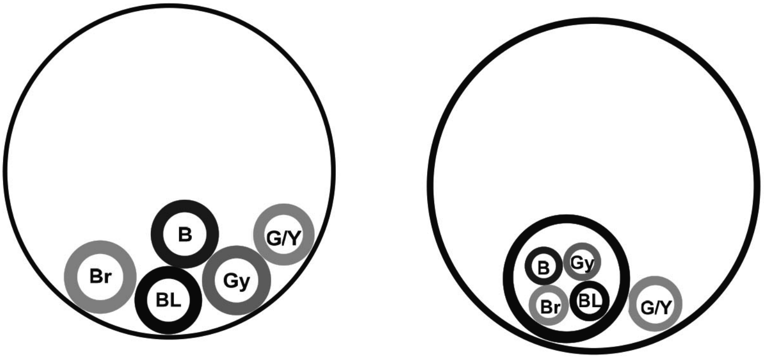
ตารางที่ 5 - 20

ตัวอย่างที่ 8.4

สายป้อน 3 ph, 4 w, 230/400V ใช้ สาย IEC 01 ขนาด 4 x 35 mm^2 สาย NYY หลายแกน 4/C x 35 mm^2 และ สาย XLPE แกนเดียว ให้หาพิกัดกระแส

วิธีทำ

สายแกนเดียว **สายหลายแกน**



สาย PVC

ตารางที่ 5 - 20

ตารางที่ 5 - 20

สาย IEC 01 4 x 35 mm^2

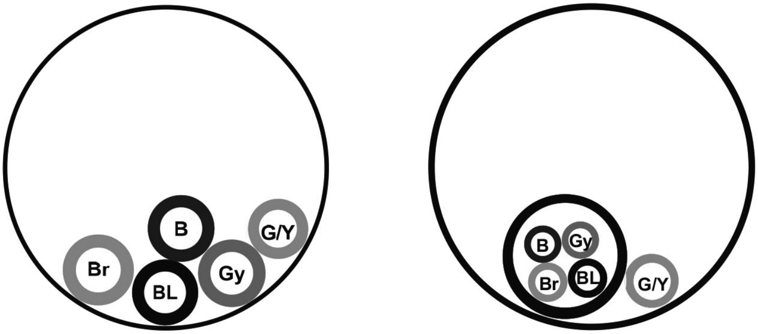
$I = 96$ A

สาย NYY หลายแกน 4/C x 35 mm^2

$I = 86$ A

ถ้าใช้สาย XLPE

สายแกนเดียว　　　　　　　　สายหลายแกน



สาย XLPE

ตารางที่ 5 - 27

ตารางที่ 5 - 27

สาย XLPE แกนเดียว　　4 x 35 mm²

I = 131 A

สาย XLPE หลายแกน　　4/C x 35 mm²

I = 116 A

ตัวอย่างที่ 8.5

สายป้อน 3 ph, 4 w, 230 / 400V จ่ายโหลด 170 A ใช้ CB 200 A การติดตั้งกลุ่มที่ 2 ใช้สาย IEC 01 สาย NYY 4/C จะต้องใช้สายขนาดเท่าใด

ถ้าใช้สาย XLPE 1/C, XLPE 4/C จะต้องใช้สายขนาดเท่าใด

วิธีทำ

โหลด 170 A, CB 200 A I_c = 200 A

สาย PVC ตารางที่ 5 - 20

IEC 01	4 x 120 mm²	208 A
NYY 4/C	4 x 185 mm²	222 A
	4 x 150 mm²	196 A
	4 x 120 mm²	179 A

โหลด 170 A, CB 200 A I_c = 200 A

สาย XLPE ตารางที่ 5 - 27

XLPE 1/C	4 x 70 mm²	202 A
XLPE 4/C	4 x 95 mm²	212 A
IEC 01	4 x 120 mm²	208 A
NYY 4/C	4 x 185 mm²	222 A

ตัวอย่างที่ 8.6

สาย PVC หลายแกน ในระบบ 3 ph, 4 w, 230/400 V ขนาด 4/C 120 mm² เดินในท่อโลหะ ในอากาศ Ambient 40 °C พิกัดกระแสเป็นเท่าใด

ถ้า Ambient เป็น 48 °C พิกัดกระแสจะเป็นเท่าใด

วิธีทำ

ตารางที่ 5 - 20 Ambient 40 °C

4/C 120 mm² , I = 179 A

Ambient เป็น 48 °C

ตารางที่ 5 - 43, สาย PVC C_a = 0.82

พิกัดกระแส 179 x 0.82 = 147 A

ตัวอย่างที่ 8.7

สาย XLPE แกนเดียว ในระบบ 3 ph, 4w, 230 / 400 V ขนาด 4 x 150 mm² เดินในท่อโลหะในอากาศ Ambient 50 °C พิกัดกระแสเป็นเท่าใด

วิธีทำ

สาย XLPE 1/C ตารางที่ 5 - 27 Ambient 40 °C

4 x 150 mm² , I = 311 A

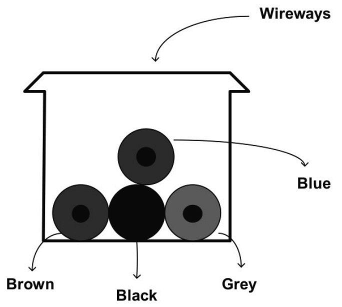
Ambient เป็น 50 °C

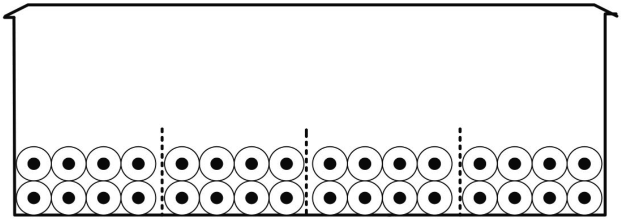
ตารางที่ 5 - 43, สาย XLPE C_a = 0.90

พิกัดกระแส 311 x 0.90 = 280 A

ตัวอย่างที่ 8.8

สายป้อน 3 ph, 4 w, 230 / 400 V เดินใน รางเดินสาย Wireways กระแสโหลดวงจรละ100 A, CB = 125 A สายไฟฟ้าใช้ สาย IEC 01, XLPE 1/C Ambient Temperature 40 °C หาขนาดสายสำหรับ 1 วงจร และสำหรับ 8 วงจร





I_L = 100 A

เลือก CB 125 A

การติดตั้งเดินใน รางเดินสาย Wireways

พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้า ต้องไม่เกิน 20 % ของพื้นที่หน้าตัดรางเดินสาย

ลักษณะการติดตั้ง กลุ่มที่ 2 ช่องเดินสายในอากาศ

ถ้าตัวนำกระแส ไม่เกิน 30 เส้น

พิกัดกระแสคิดตัวนำกระแส 3 เส้นในท่อ ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่า

ตัวอย่างที่ 8.9

สายป้อน 3 ph, 4 w, 230 / 400 V ใช้ สาย NYY 6 (4 x 70 mm^2) เดินใน Wireways จะต้องใช้ Wireways ขนาดเล็กสุดเท่าใด แต่ละชุดจะนำกระแสได้เท่าใด

วิธีทำ

สาย NYY 6 (4 x 70 mm^2) รวม 6 x 4 = 24 เส้น

จากตาราง สาย NYY ใน Wireways

Wireways ขนาด 150 x 300 mm, สาย 70 mm^2 31 เส้น

ขนาด 100 x 300 mm, สาย 70 mm^2 21 เส้น

ใช้ขนาด 150 x 300 mm

ตารางที่ 5 - 20, 3 ตัวนำกระแส I = 149 A

8.4 การเลือกขนาด ชนิด สายไฟฟ้าตามการติดตั้งกลุ่มที่ 5

การติดตั้งกลุ่มที่ 5

สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอกเดินในท่อโลหะหรืออโลหะ ฝังดิน

พิกัดกระแส มี 2 ตารางคือ

สาย PVC 70 °C ตารางที่ 5 - 23

สาย XLPE 90 °C ตารางที่ 5 - 29

ข้อกำหนดเดิม ไม่ต้องใช้ ตัวคูณปรับค่า

ข้อกำหนดใหม่ ต้องใช้ ตัวคูณปรับค่าตามจำนวนวงจร และระยะห่างระหว่างวงจรร้อยท่อฝังดินโดยตรงตารางที่ 5 - 46

สายไฟฟ้าที่อนุญาตให้ใช้ได้

1) สาย PVC 70 °C ตารางที่ 5 - 23
   NYY, NYY - G
2) สาย XLPE 90 °C ตารางที่ 5 - 29
   IEC 60502 - 1

ตัวอย่างที่ 8.10

ตัวคูณปรับค่าหลายท่อวางชิดกัน และวางห่าง 250 mm สำหรับ 2, 3, 4, 5 ท่อ มีค่าเท่าใด

วิธีทำ

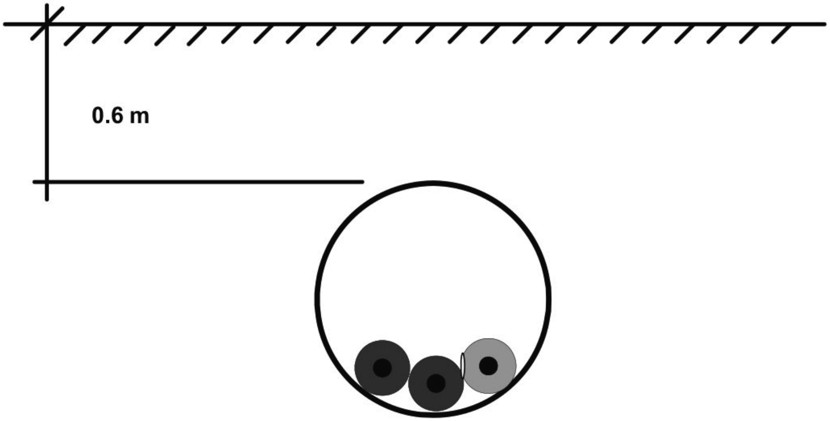
ตารางที่ 5 - 46 ตัวคูณปรับค่า

	วางชิดกัน	**วางห่าง 250 mm**
2 ท่อ	0.85	0.90
3 ท่อ	0.75	0.85
4 ท่อ	0.70	0.80
5 ท่อ	0.65	0.80

ตัวอย่างที่ 8.11

ระบบไฟฟ้า 1 ph, 230 V ใช้สาย NYY, XLPE แกนเดียว 2 x 16 mm^2 เดินในท่อฝังดินพิกัดกระแสเป็นเท่าใด

วิธีทำ



สาย NYY 1/C การติดตั้งกลุ่มที่ 5

ตารางที่ 5 - 23, ตัวนำกระแส 2

2 x 16 mm^2 , I = 81 A

สาย XLPE 1/C การติดตั้งกลุ่มที่ 5

ตารางที่ 5 - 29, ตัวนำกระแส 2

2 x 16 mm^2, I = 94 A

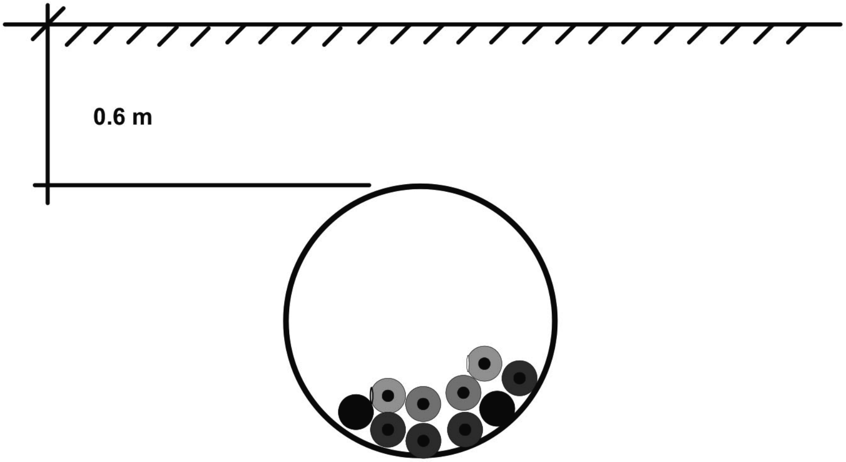
ตัวอย่างที่ 8.12

ระบบไฟฟ้า 3 ph, 4 w, 230/400 V ใช้สาย NYY แกนเดียว 4 x 50 mm^2 เดินในท่อฝังดินพิกัดกระแสเป็นเท่าใด

ถ้ามี 2 ชุด เดินในท่อเดียวกัน พิกัดกระแสเป็นเท่าใด

วิธีทำ

2 กลุ่มวงจร ในท่อเดียวกัน



สาย PVC การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ตารางที่ 5 - 23

4 x 50 mm^2 , I = 136 A

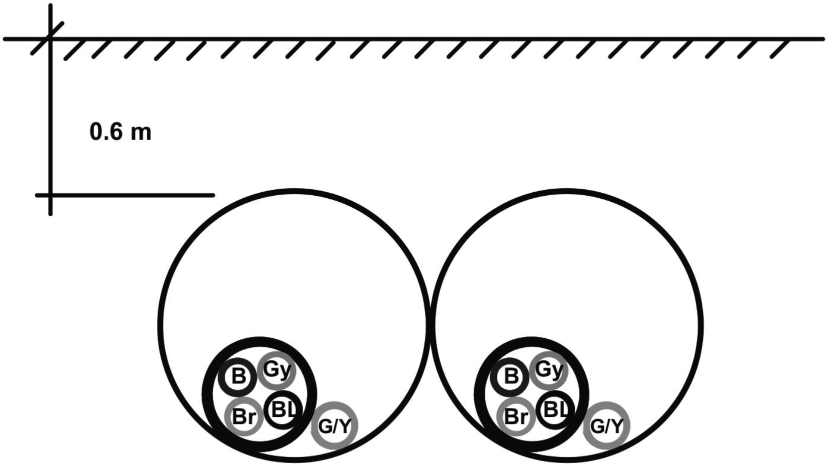
2 กลุ่มวงจร เดินในท่อเดียวกัน

ตารางที่ 5 - 8, C_g = 0.80

พิกัดกระแส 136 x 0.8 = 109 A

ตัวอย่างที่ 8.13

ระบบไฟฟ้า 3 ph, 4 w, 230/400 V ใช้สาย NYY หลายแกน 4/C 120 mm² เดินในท่อฝังดิน พิกัดกระแสเป็นเท่าใดถ้าใช้ 2 ท่อ วางชิดกัน พิกัดกระแสจะเป็นเท่าใด



วิธีทำ

สาย PVC การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ตารางที่ 5 - 23

4/C 120 mm² $I = 234$ A

2 ท่อ วางชิดกัน

ตารางที่ 5 - 46, $C_g = 0.85$

พิกัดกระแส $234 \times 0.85 = 199$ A

ตัวอย่างที่ 8.14

ระบบไฟฟ้า 3 ph, 4 w, 230/400 V ใช้สาย XLPE แกนเดียวร้อยท่อฝังดิน จ่ายโหลด 280 A ใช้ CB 320 AT ต้องใช้สายขนาดเท่าใด

วิธีทำ

สาย XLPE การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ตารางที่ 5 - 29

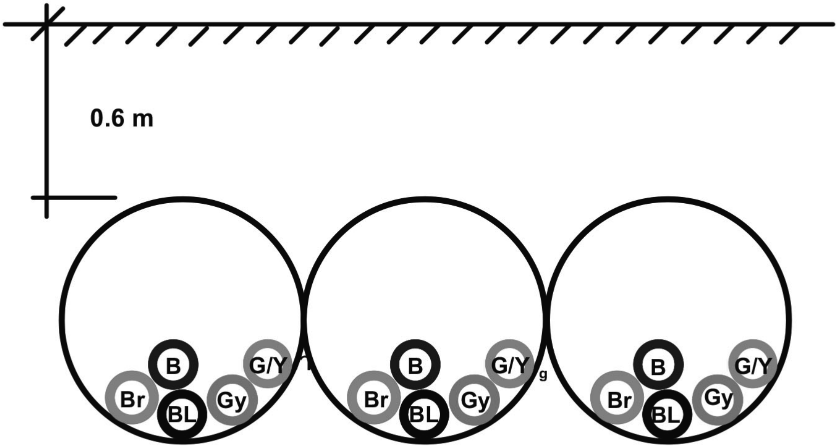
CB 320 A I_c = 320 A

สาย XLPE 4 x 185 mm² 356 A

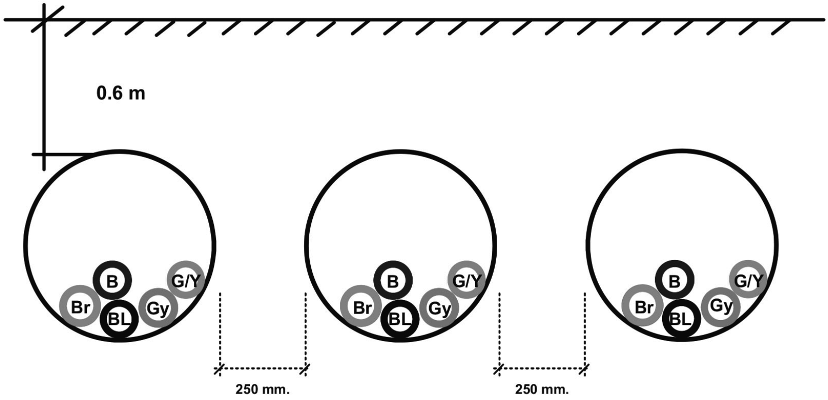
ตัวอย่างที่ 8.15

สายป้อน 3ph, 4 w, 230/400 V จ่ายโหลด ซึ่งมี CB ต้นทาง 600 AT ใช้สาย XLPE แกนเดียวร้อยท่อฝังดินควบ 3 ชุด วางชิดกัน และวางห่างกัน 250 mm ต้องใช้สายขนาดเท่าใด

3 ท่อ วางชิดกัน C_g = 0.75



3 ท่อ วางห่างกัน 250 mm C_g = 0.85



วิธีทำ

สาย XLPE 1/C การติดตั้งกลุ่มที่ 5

CB 600 AT ควบ 3 ชุด วางชิดกัน

ตารางที่ 5 - 46, C_g = 0.75

แต่ละชุด พิกัดกระแส ตารางที่ 5 - 29

I_c = 600 / (3 x 0.75) = 267A

3 (4 x 120 mm²) (275 A)

CB 600 AT ควบ 3 ชุด วางห่างกัน 250 mm

ตารางที่ 5 - 46, C_g = 0.85

แต่ละชุด พิกัดกระแส ตารางที่ 5 - 29

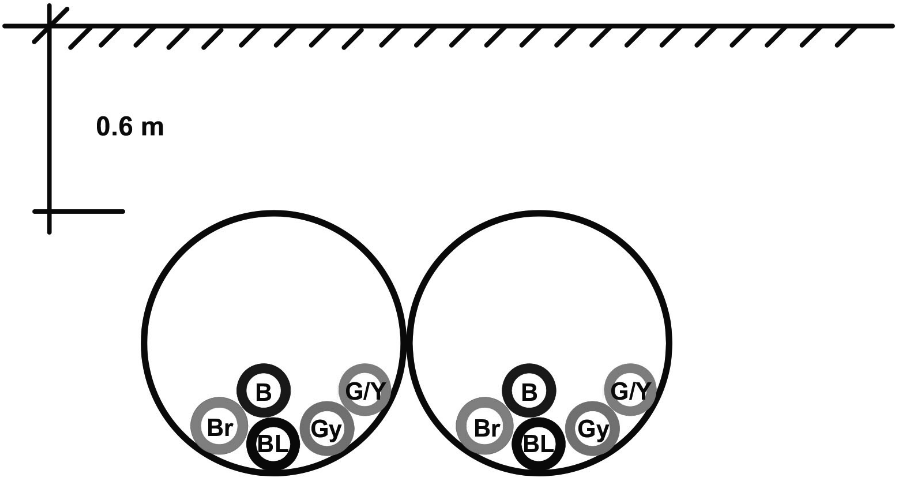
I_c = 600 / (3 x 0.85) = 235 A

3 (4 x 95 mm²) (238 A)

ตัวอย่างที่ 8.16

สถานประกอบการใช้ มิเตอร์ 230/400 V, 400 A ใช้ CB 500 AT

ถ้าใช้ สาย NYY แกนเดียว ร้อยท่อฝังดิน ควบ 2 ท่อ วางชิดกัน ต้องใช้สายขนาดเท่าใด



วิธีทำ

สาย PVC การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ตารางที่ 5 - 23

CB 500 A ควบ 2 ชุด วางชิดกัน

ตารางที่ 5 - 46, C_g = 0.85

I_c = 500 / (2 x 0.85) = 294 A

NYY 1/C 2 (4x185 mm²) (303 A)

ตัวอย่างที่ 8.17

สายขนาด 120 mm^2 ในระบบ 3 ph, 4 w, 230/400 V ติดตั้งในกลุ่มที่ 5 โดยใช้ 3 ท่อวางชิดกันในแนวนอน และ วางห่าง 250 mm

1) NYY แกนเดียว

2) XLPE แกนเดียว

ให้เปรียบเทียบพิกัดกระแส

วิธีทำ

การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ตารางที่ 5 - 46

3 ท่อ วางชิดกัน C_g = 0.75

3 ท่อ วางห่างกัน 250 mm C_g = 0.85

1) สาย NYY แกนเดียว 4 x 120 mm^2 ตารางที่ 5 - 23

1 ท่อ I = 234 A

3 ท่อ วางชิดกัน I = 234 x 0.75 = 176 A

3 ท่อ วางห่างกัน 250 mm

I = 234 x 0.85 = 199 A

2) สาย XLPE แกนเดียว 4 x 120 mm^2 ตารางที่ 5 - 29

1 ท่อ I = 275 A

3 ท่อ วางชิดกัน I = 275 x 0.75 = 206 A

3 ท่อ วางห่างกัน 250 mm

I = 275 x 0.85 = 234 A

การติดตั้งกลุ่มที่ 5

สาย 4 x 120 mm² 230 / 400 V 3 ท่อ

	วางชิดกัน	วางห่าง 250 mm
NYY	176 A	199 A
XLPE	206 A	234 A

8.5 การเลือกขนาด ชนิด สายไฟฟ้าตามการติดตั้งกลุ่มที่ 7

การติดตั้งกลุ่มที่ 7

สายเคเบิล แกนเดี่ยว หรือ หลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอกวางบน รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ, รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือ รางเคเบิลแบบบันได

การเดินสายไฟฟ้าบนรางเคเบิล Cable Trays

- การเดินสายไฟฟ้าแบบนี้ นิยมใช้มากในวงจร Main และ Feeder เนื่องจากทำงานง่ายและประหยัด ต้องศึกษาให้เข้าใจ
- ตามมาตรฐานที่ปรับปรุงใหม่ ไม่อนุญาตให้ สายไม่มีเปลือกเดินบน Cable Trays สาย IEC 01 (THW) เดินบน Cable Trays ไม่ได้อีกต่อไป

Cable Trays แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือ แบบบันได
2. รางเคเบิลชนิดด้านล่างทึบ มี/ไม่มีฝาปิด

รางเคเบิลทั้ง 2 ชนิด พิกัดกระแส ยังแยกเป็น

สายแกนเดียว พิกัดกระแส มีค่าสูง

สายหลายแกน พิกัดกระแส มีค่าต่ำ

สายและอุปกรณ์ที่อนุญาตให้ติดตั้งในรางเคเบิลได้

สายและอุปกรณ์ต่อไปนี้ อนุญาตให้ติดตั้งในรางเคเบิลได้แต่ต้องเป็นไปตามวิธีการที่กำหนดของการเดินสายหรือของอุปกรณ์นั้นๆ

ก) สายเคเบิลชนิดเอ็มไอ (Mineral insulated cable), ชนิด MC (Metal-clad cable) และ ชนิด AC (Armored cable)

ข) สายเคเบิลแกนเดียว ชนิดมีเปลือกนอก ทั้งในระบบแรงสูง และแรงต่ำ และขนาดไม่เล็กกว่า 25 ตร.มม.

ค) สายดินทุกขนาด

ง) สายเคเบิลหลายแกนใน ระบบแรงสูง และระบบแรงต่ำทุกขนาด

จ) สายชนิดหลายแกน สำหรับควบคุมสัญญาณ และไฟฟ้ากำลัง

ฉ) ท่อร้อยสายชนิดต่างๆ

การเดินสายบนรางเคเบิล

- ให้วางสายไฟฟ้าชั้นเดียว หรือสามเหลี่ยม ตามแสดงในรูปเท่านั้น
- ห้ามวางทับกันหลายชั้น
- เมื่อใช้สายเคเบิลแกนเดียว สายเส้นไฟ และสายนิวทรัลของแต่ละวงจรต้องเดินรวมกันเป็นกลุ่ม (ในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยสายเส้นนิวทรัล 1 เส้น และสายเส้นไฟเฟสละ 1 เส้น) และสายต้องมัดเข้าด้วยกัน

สายไฟฟ้าที่อนุญาตให้ใช้ได้

1) สาย PVC 70 °C ตารางที่ 5 - 30, 5 - 31 IEC 10, NYY, NYY - G

2) สาย XLPE 90 °C ตารางที่ 5 - 32, 5 - 33 IEC 60502 - 1 สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย

พิกัดกระแสสายไฟฟ้าของการเดินสายบน Cable Trays

พิกัดกระแสสายไฟฟ้าการเดินสายบน Cable Trays มี 4 ตาราง คือ

สาย PVC 70 °C

1) รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือแบบบันไดตารางที่ 5 - 30

2) รางเคเบิลชนิดด้านล่างทึบ มี/ไม่มี ฝาปิดตารางที่ 5 - 31

สาย XLPE 90 °C

1) รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือแบบบันไดตารางที่ 5 - 32

2) รางเคเบิลชนิดด้านล่างทึบ มี/ไม่มี ฝาปิดตารางที่ 5 - 33

ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแส มากกว่า 1 กลุ่มวงจร ต้องมีตัวคูณปรับค่าตารางตัวคูณปรับค่ามี 3 ตาราง คือ

ตารางที่ 5 - 40

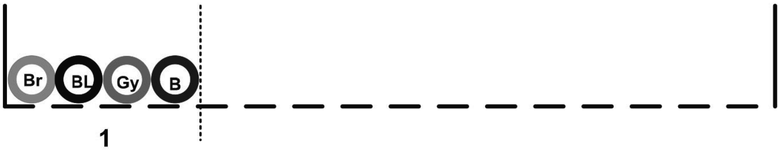
ตารางที่ 5 - 41

ตารางที่ 5 - 31 (ก)

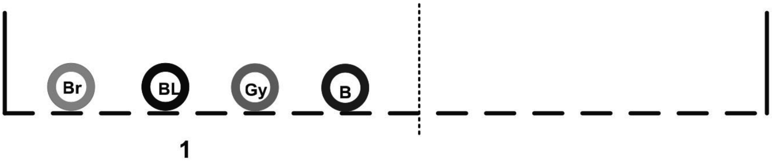
ตัวอย่างที่ 8.18

สาย NYY แกนเดียว ขนาด 4 x 50 mm² และ สาย NYY หลายแกน ขนาด 4/C 50 mm² ในระบบ 3 ph, 4 w, 230/400 V เดินบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ แบบบันไดวางชิดกัน ในแนวนอนวางห่างกัน 1 เคเบิล ให้หาพิกัดกระแส

สาย NYY แกนเดียว วางชิดกันในแนวนอน

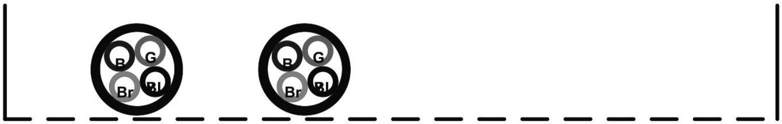


สาย NYY แกนเดียว วางห่างกัน 1 เคเบิล



สาย NYY หลายแกน วางชิดกันในแนวนอน

สาย NYY หลายแกน วางห่างกัน 1 เคเบิล



วิธีทำ

สาย NYY แกนเดียว ตารางที่ 5 - 30 สายขนาด 4 x 50 mm²

เดินบนรางเคเบิล แบบระบายอากาศ แบบบันได

วางชิดกัน ในแนวนอน	I	=	151 A
วางห่างกัน 1 เคเบิล	I	=	191 A

สาย NYY หลายแกน ตารางที่ 5 - 30

สายขนาด 4/C 50 mm²

เดินบนรางเคเบิล แบบระบายอากาศ แบบบันได

วางชิดกัน ในแนวนอน	I	=	133 A

ตัวอย่างที่ 8.19

สาย NYY หลายแกน ขนาด 4/C 120 mm² ในระบบ 3 ph, 4 w, 230/400 V เดินบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ให้หาพิกัดกระแส โดย Ambient 40 °C วางชิดกัน ในแนวนอน

วิธีทำ

สาย NYY ตารางที่ 5 - 30

สาย 4/C 120 mm²

วางชิดกัน ในแนวนอน	I	=	240 A

ตัวอย่างที่ 8.20

สาย XLPE แกนเดียว ขนาด 4 x 120 mm² สาย XLPE หลายแกน ขนาด 4/C 120 mm² ในระบบ 3 ph, 4 w, 230/400 V เดินบนรางเคเบิล แบบด้านล่างทึบไม่มีฝาปิด และมีฝาปิดให้หาพิกัดกระแส โดย Ambient 40 °C

ด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด

ด้านล่างทึบ มีฝาปิด

สายหลายแกน ด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด

สายหลายแกน ด้านล่างทึบ มีฝาปิด

วิธีทำ

สาย XLPE แกนเดียว ขนาด 4 x 120 mm^2

ตารางที่ 5 - 33

รางเคเบิล แบบ ด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด

I = 345 A

รางเคเบิล แบบ ด้านล่างทึบ มีฝาปิด

I = 284 A

สาย XLPE หลายแกน ขนาด 4 / C 120 mm^2

ตารางที่ 5 - 33

รางเคเบิล แบบ ด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด

I = 293 A

รางเคเบิล แบบ ด้านล่างทึบ มีฝาปิด

I = 244 A

ตัวอย่างที่ 8.21

หาตัวคูณปรับค่าของรางเคเบิล แบบบันได 4 กลุ่มวงจรวางชิดกันในแนวนอนวางห่างกัน 1 เคเบิล ในแนวนอน

วิธีทำ

จากตารางที่ 5 - 40

วางชิดกันในแนวนอน 4 กลุ่ม วงจร

C_g = 0.94

ตารางที่ 5 - 40 (ต่อ)

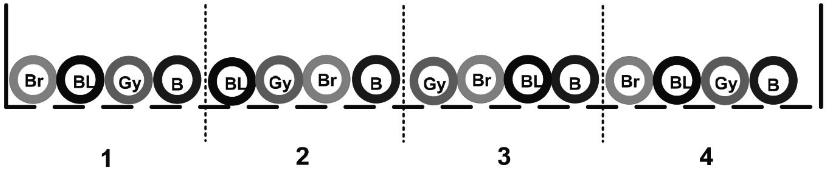
วางห่างกัน 1 เคเบิล ในแนวนอน 4 กลุ่ม วงจร

C_g = 0.96

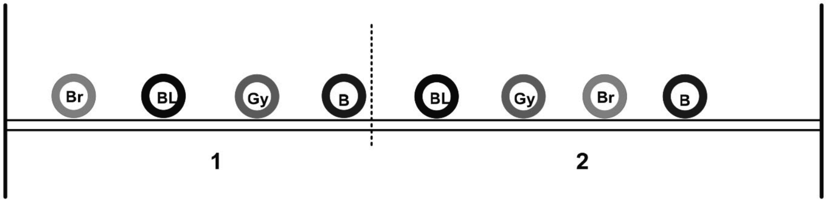
ตัวอย่างที่ 8.22

สาย XLPE แกนเดียว ขนาด 4 x 120 mm² ในระบบ 3 ph, 4 w, 230/400 V 4 กลุ่มวงจร ให้หาพิกัดกระแสรางเคเบิลแบบระบายอากาศ วางชิดกันในแนวนอนรางเคเบิล แบบบันไดวางห่างกัน 1 เคเบิล ในแนวนอน

แบบระบายอากาศ วางชิดกันในแนวนอน



แบบบันไดวางห่างกัน 1 เคเบิล



วิธีทำ

รางเคเบิลแบบระบายอากาศ วางชิดกันในแนวนอน

ตารางที่ 5 - 32 สาย XLPE 4 x 120 mm²

1 วงจร $I = 364$ A

ตารางที่ 5 - 40 4 กลุ่มวงจร

$C_g = 0.82$

พิกัดกระแส 364 x 0.82 = 299 A

ตัวอย่างที่ 8.23

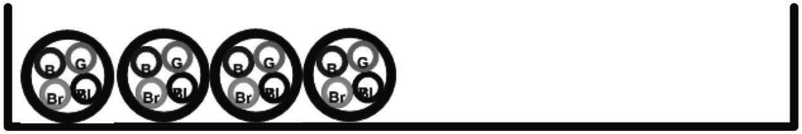
สาย XLPE หลายแกน ขนาด 4/C 150 mm² ในระบบ 3 ph, 4 w, 230/400 V เดินบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบไม่มีฝาปิด และมีฝาปิด

1 กลุ่มวงจร

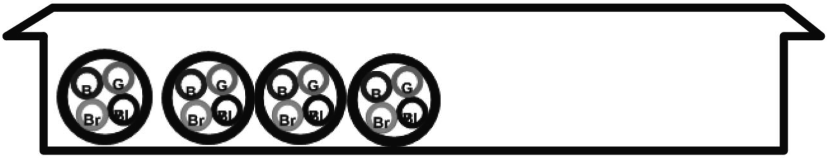
4 กลุ่มวงจร วางชิดกัน ในแนวนอน

ให้หาพิกัดกระแส Ambient 40 °C

แบบด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด



แบบด้านล่างทึบ มีฝาปิด



วิธีทำ

สาย XLPE หลายแกน ขนาด 4/C 150 mm^2

รางเคเบิล แบบด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด

ตารางที่ 5 - 33		I	=	338 A
ตารางที่ 5 - 41	1 วงจร	C_g	=	0.97
พิกัดกระแส	338 x 0.97		=	328 A
ตารางที่ 5 - 41	4 กลุ่มวงจรวางชิดกัน			
		C_g	=	0.75
พิกัดกระแส	338 x 0.75		=	254 A

สาย XLPE หลายแกน ขนาด 4/C 150 mm^2

รางเคเบิล แบบด้านล่างทึบ มีฝาปิด

ตารางที่ 5 - 33		I	=	273 A
ตารางที่ 5 - 33 (ก)	1 วงจร	C_g	=	1.00
พิกัดกระแส	273 x 1.00		=	273 A
ตารางที่ 5 - 33 (ก)	4 วงจร	C_g	=	0.65
พิกัดกระแส	273 x 0.65		=	177 A

ตัวอย่างที่ 8.24

สาย XLPE หลายแกน ขนาด 4/C 4 mm² ในระบบ 3 ph, 4 w, 230/400 V เดินบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ Ambient 40 °C

4 กลุ่มวงจร วางชิดกัน ในแนวนอน

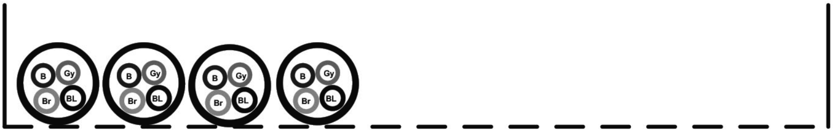
9 กลุ่มวงจร วางชิดกัน ในแนวนอน

20 กลุ่มวงจร วางชิดกัน ในแนวนอน

ให้หาพิกัดกระแส

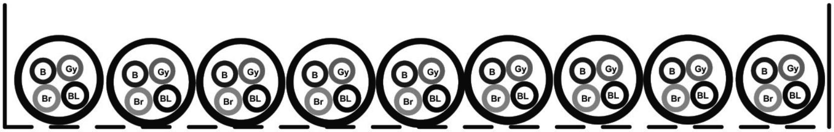
สาย XLPE หลายแกน วางชิดกัน ในแนวนอน

4 กลุ่มวงจร วางชิดกัน C_g = 0.77



สาย XLPE หลายแกน วางชิดกัน ในแนวนอน

9 กลุ่มวงจร วางชิดกัน C_g = 0.72



วิธีทำ

ตารางที่ 5 - 32 4/C 4 mm^2 1 วงจร			I	=	38 A
ตารางที่ 5 - 41 4 กลุ่มวงจร วางชิดกัน			C_g	=	0.77
พิกัดกระแส	I	= 38 x 0.77		=	29 A
ตารางที่ 5 - 41 9 กลุ่มวงจร วางชิดกัน			C_g	=	0.72
พิกัดกระแส	I	= 38 x 0.72		=	27 A

ตารางที่ 5 - 41 20 กลุ่มวงจร วางชิดกัน
จากตาราง ตัวคูณปรับค่า ต่ำสุดคือ 9 กลุ่มวงจร
ถ้ามี กลุ่มวงจร มากกว่านี้ ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่มีผล
เนื่องจากห่างกันมาก
ดังนั้น ตัวคูณปรับค่า ให้ใช้ของ 9 กลุ่มวงจร

C_g = 0.72

I = 38 x 0.72 = 27 A

ตัวอย่างที่ 8.25

สายขนาด 120 mm² ในระบบ 3 ph, 4 w, 230/400 V ติดตั้งในกลุ่มที่ 7 วางชิดกันในแนวนอน 5 ชุด ใช้ สาย XLPE แกนเดียว และหลายแกนวางบนรางเคเบิล แบบ

1) ระบายอากาศ
2) บันได
3) ล่างทึบ ไม่มีฝาปิด
4) ล่างทึบ มีฝาปิด

ให้เปรียบเทียบพิกัดกระแส

วิธีทำ

1) รางเคเบิล แบบ ระบายอากาศ

สายแกนเดียว

วางชิดกันในแนวนอน 5 ชุด

ตารางที่ 5 - 40 C_g = 0.78

ตารางที่ 5 - 32

1 ชุด 4 x 120 mm² สาย XLPE แกนเดียว

I = 364 A

5 ชุด I = 364 x 0.78 = 284 A

รางเคเบิล แบบ ระบายอากาศ

สายหลายแกน

วางชิดกันในแนวนอน 5 ชุด

สายหลายแกน 5 ชุด

ตารางที่ 5 - 41			C_g	=	0.73
1 ชุด	XLPE 4/C 120 mm²				
	I	=	315 A		
5 ชุด	I	=	315 x 0.73	=	230 A

2) รางเคเบิล แบบ บันได

สายแกนเดียว

วางชิดกันในแนวนอน 5 ชุด

ตารางที่ 5 - 40			C_g	=	0.93
ตารางที่ 5 - 32					
1 ชุด	4 x 120 mm²				
	I	=	364 A		
5 ชุด	I	=	364 x 0.93	=	339 A

รางเคเบิล แบบ บันได

สายหลายแกน

วางชิดกันในแนวนอน 5 ชุด

ตารางที่ 5 - 41			C_g	=	0.79
ตารางที่ 5 - 32					
1 ชุด	4/C 120 mm²				
	I	=	315 A		
5 ชุด	I	=	315 x 0.79	=	249 A

3) รางเคเบิลแบบล่างทึบ ไม่มีฝาปิด

สายแกนเดียว

วางชิดกันในแนวนอน 5 ชุด

ตารางที่ 5 - 41 C_g = 0.71

1 ชุด ตารางที่ 5 - 33 4 x 120 mm^2

I = 345 A

5 ชุด I = 345 x 0.71 = 245 A

รางเคเบิลแบบล่างทึบ ไม่มีฝาปิด

สายหลายแกน

วางชิดกันในแนวนอน 5 ชุด

ตารางที่ 5 - 41 C_g = 0.71

1 ชุด ตารางที่ 5 - 33 4/C 120 mm^2

I = 293 A

5 ชุด I = 293 x 0.71 = 208 A

4) รางเคเบิลแบบล่างทึบ มีฝาปิด

สายแกนเดียว

วางชิดกันในแนวนอน 5 ชุด

ตารางที่ 5 - 33 (ก) C_g = 0.60

1 ชุด ตารางที่ 5 - 33 4 x 120 mm^2

I = 284 A

5 ชุด I = 284 x 0.60 = 170 A

รางเคเบิลแบบล่างทึบ มีฝาปิด

สายหลายแกน

วางชิดกันในแนวนอน 5 ชุด

ตารางที่ 5 - 33 (ก) C_g = 0.60

1 ชุด ตารางที่ 5 - 33 4/C 120 mm²

I = 244 A

5 ชุด I = 244 x 0.60 = 146 A

XLPE สายแกนเดียว 4 x 120 mm² 5 ชุด

ระบายอากาศ	บันได	ล่างทึบไม่มีฝาปิด	ล่างทึบ มีฝาปิด
284 A	339 A	245 A	170 A

XLPE สายหลายแกน 4/C 120 mm² 5 ชุด

ระบายอากาศ	บันได	ล่างทึบไม่มีฝาปิด	ล่างทึบมีฝาปิด
230 A	249 A	208 A	146 A

บทที่
9
แรงดันตก

9.1 บทนำ

แรงดันตก (Voltage Drop) คือความแตกต่างระหว่างขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จุดแหล่งจ่ายต้นทาง และจุดรับไฟฟ้า เกิดเนื่องจากการที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟฟ้าที่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของตัวสายไฟฟ้าเอง

แรงดันตกเป็นปัญหาที่สำคัญมากปัญหาหนึ่ง ที่จะต้องพิจารณาเมื่อใช้สายไฟฟ้าที่มีความยาวมากๆ ผลของแรงดันตกต่อบริภัณฑ์ไฟฟ้ามีมากมาย เช่น มีผลต่อความสว่างของหลอดไฟฟ้า ทำให้มอเตอร์สตาร์ทยาก เป็นต้น

9.2 แรงดันตกสำหรับระบบแรงต่ำ

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. ได้กำหนดค่าแรงดันตกในข้อ 3.6 สำหรับระบบแรงต่ำไว้ดังนี้

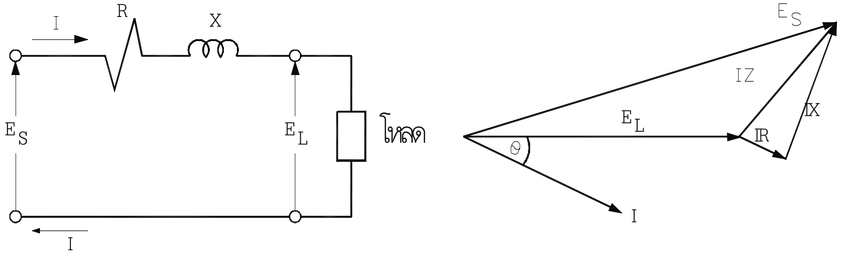
1. กรณีรับไฟแรงต่ำจากการไฟฟ้า แรงดันตกคิดจากเครื่องวัดฯ จนถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้ายรวมกันต้องไม่เกิน 5% จากแรงดันที่ระบุ

2. กรณีรับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้า แรงดันตกคิดจากบริภัณฑ์ประธานแรงต่ำจนถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้ายรวมกันต้องไม่เกิน 5% จากแรงดันที่ระบุ

แรงดันตกจากสายประธาน (Service) ไปยังโหลด (Load)	5 %
อาจแยกออกเป็น	
แรงดันตกในสายป้อน (Feeder)	2 - 3 %
แรงดันตกในวงจรย่อย (Branch Circuit)	2 - 3 %
รวม ไม่เกิน	5 %
แรงดันระบุ สำหรับ ไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย	230 V
ไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย	230 / 400 V

9.3 การคำนวณแรงดันตก

พิจารณาวงจรสมมูล 1 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรม ดังรูปที่ 9.1



(ก) (ข)

รูปที่ 9.1 วงจรสมมูล และเฟสเซอร์ไดอะแกรม

$$E_S = E_L\angle\theta + I\angle{-\theta}\,(R + jX)$$

$$= E_L + I\,(\cos\theta - j\sin\theta)\,(R + jX)$$

$$= E_L + I\,(R\cos\theta + X\sin\theta - jR\sin\theta + jX\cos\theta)$$

$$= (E_L + IR\cos\theta + IX\sin\theta) + jI\,(X\cos\theta - R\sin\theta)$$

Real Part Imaginary Part

Real Part มีค่ามาก

Imaginary Part มีค่าน้อย

∴ สามารถหาค่าโดยประมาณได้

$E_S - E_L = IR\cos\theta + IX\sin\theta$

ได้สูตรการคำนวณค่าแรงดันตกในระบบไฟฟ้า ดังนี้

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

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

โดย
- VD = แรงดันตก (V)
- I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร (A)
- R = ค่าความต้านทานทางเดียวของสายไฟฟ้า (Ω)
- X = ค่ารีแอกแตนซ์ทางเดียวของสายไฟฟ้า (Ω)
- $\cos\theta$ = ค่าตัวประกอบกำลังของโหลด (P.F.)
- E_L = แรงดันที่โหลด
- E_S = แรงดันที่ต้นทาง

9.4 ค่า I, cos θ, R และ X ของสายไฟฟ้า

9.4.1 ค่า I และ cos θ

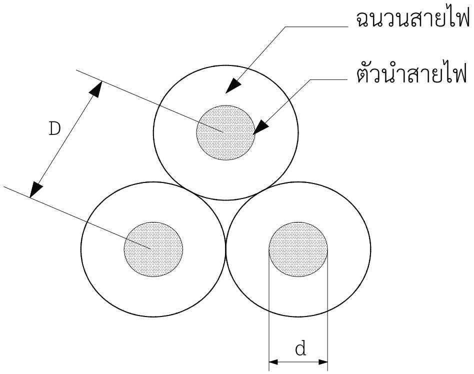
ค่ากระแสไฟฟ้า (I), $\cos\theta$ เป็นคุณสมบัติของโหลด ถ้าโหลดใหญ่ค่ากระแสไฟฟ้า (I) ก็จะสูง สำหรับค่า $\cos\theta$ คือ Power Factor ของโหลด โดยทั่วไปจะไม่ทราบค่า ค่าเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 80% Lagging ถึง 100%

9.4.2 ค่า R และ X

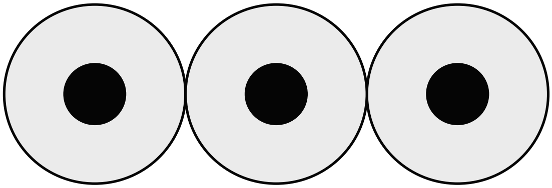
ค่าความต้านทาน (R) ของสายไฟฟ้าสามารถหาได้จากมาตรฐานสายไฟฟ้าซึ่งให้ค่าที่อุณหภูมิ 20 °C สำหรับการคำนวณแรงดันตกให้ปรับค่าความต้านทานนี้ไปที่อุณหภูมิ 70 °C สำหรับสาย PVC และอุณหภูมิ 90 °C สำหรับสาย XLPE

ส่วนค่ารีแอกแตนซ์ (X) ของสายไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ และระยะห่างระหว่างตัวนำสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส อาจจัดการวางสายได้หลายแบบ ซึ่งจะให้ค่า X ต่างกัน คือ

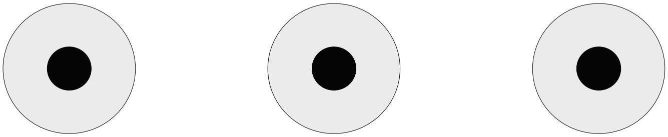
1. การเรียงสายแบบ Trefoil จะให้ค่า X น้อยที่สุด
2. การเรียงสายแบบ Touching Flat
3. การเรียงสายแบบ Spaced Flat จะให้ค่า X มากที่สุด



รูปที่ 9.2 การวางสายไฟฟ้าแบบ Trefoil



รูปที่ 9.3 การวางสายไฟฟ้าแบบ Touching Flat



รูปที่ 9.4 การวางสายไฟฟ้าแบบ Spaced Flat

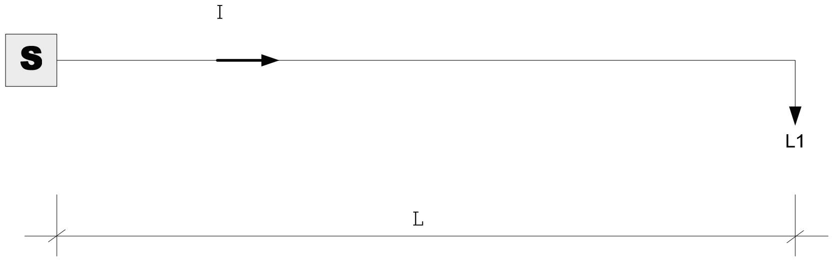
9.5 แรงดันตกในวงจร

ในการใช้งานในวงจรโหลดจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

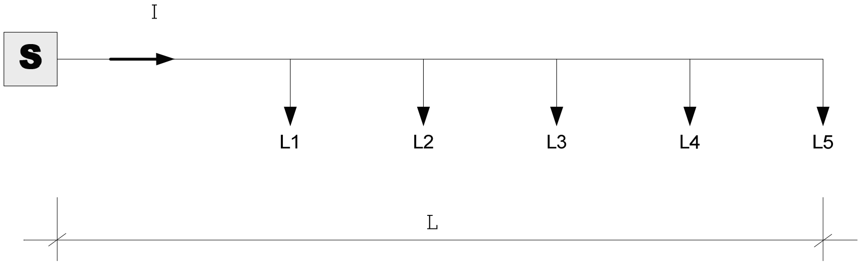
Concentrated Load คือ วงจรที่โหลดมีเพียงชุดเดียวและอยู่ที่ปลายสาย แรงดันตกของการจ่ายโหลดลักษณะนี้จะมีค่าสูงสุด

Distributed Load คือ วงจรที่มีโหลดหลายชุดกระจายไปตามความยาวสาย แรงดันตกของการจ่ายโหลดลักษณะนี้จะมีค่าน้อยกว่าแบบแรก

ถ้าวงจรประกอบด้วยโหลดจำนวนหลายๆ ชุด แรงดันตกของ Distributed Load จะน้อยกว่าแรงดันตกของ Concentrated Load ประมาณ 2 เท่า



รูปที่ 9.5 Concentrated Load



รูปที่ 9.6 Distributed Load

9.6 ตารางแรงดันตก

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. พ.ศ. 2556 ได้ให้ตารางสำหรับคำนวณแรงดันตกในภาคผนวก ฐ ซึ่งมีทั้งหมด 4 ตาราง ตามชนิดของฉนวนและวิธีการติดตั้ง ได้แก่

ตารางที่ ฐ 1 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน PVC แกนเดียวที่ 70 °C

ตารางที่ ฐ 2 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน PVC หลายแกนที่ 70 °C

ตารางที่ ฐ 3 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน XLPE แกนเดียวที่ 90 °C

ตารางที่ ฐ 4 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน XLPE หลายแกนที่ 90 °C

การคำนวณแรงดันตกสามารถทำได้ตามสูตร

VD = VD (T) x I x L / 1000

โดยที่

VD = ค่าแรงดันตก (V)

VD (T) = ค่าจาก ตารางภาคผนวก ฐ (mV/A/m)

I = กระแส (A)

L = ความยาวทางเดียวของวงจร (m)

สูตรนี้ใช้ได้ทั้งระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส เนื่องจากค่า VD (T) ในตารางได้ปรับค่าไว้ให้แล้ว

ตัวอย่างที่ 9.1

วงจรย่อยเฉพาะ 1 เฟส, 230 V, IEC 01 2.5 mm^2

I = 10 A, L = 30 m การติดตั้งกลุ่มที่ 2 VD เป็นเท่าใด

วิธีทำ

จากภาคผนวกตารางที่ ฐ 1 2.5 mm^2 VD (T) = 18 mV / A / m

VD = VD (T) x I x L / 1000

VD = (18 x 10 x 30) / 1000

= 5.4 V

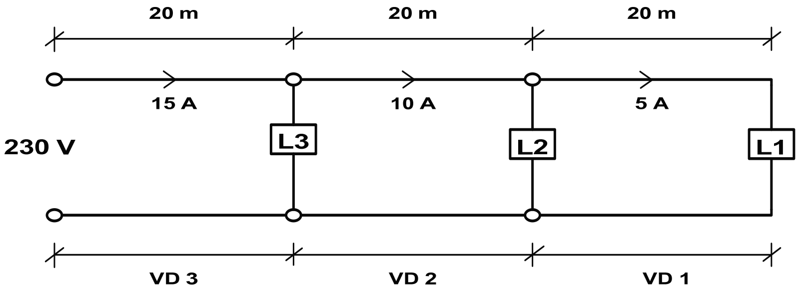
2 % = 230 x 0.02 = 4.6 V

3 % = 230 x 0.03 = 6.9 V

ตัวอย่างที่ 9.2

วงจรย่อย 20 A, 230 V จ่ายโหลด 3 จุด จุดละ 5 A ห่างกัน 20 m ให้หา VD ที่จุดไกลสุด วงจรย่อยใช้สาย IEC 01 2 x 4 mm² ติดตั้งกลุ่มที่ 2 และกรณีถ้าใช้สาย 2 x 6 mm² VD จะเป็นเท่าใด

วิธีทำ



สาย IEC 01 2 x 4 mm² ติดตั้งกลุ่มที่ 2

จากตาราง ฐ 1 VD(T) = 11 mV / A / m

VD = VD(T) x I x L / 1000

VD 1 = 11 x 5 x 20 / 1000 = 1.1 V

VD 2 = 11 x 10 x 20 / 1000 = 2.2 V

VD 3 = 11 x 15 x 20 / 1000 = 3.3 V

VD ทั้งหมด = 1.1 + 2.2 + 3.3 = 6.6 V

% = 6.6 x 100 / 230 = 2.9 %

ถ้าใช้สาย IEC 01 2 x 6 mm²

จากตาราง ฐ 1 2 x 6 mm² VD(T) = 7.3 mV / A / m

VD = 6.6 x 7.3 / 11 = 4.4 V

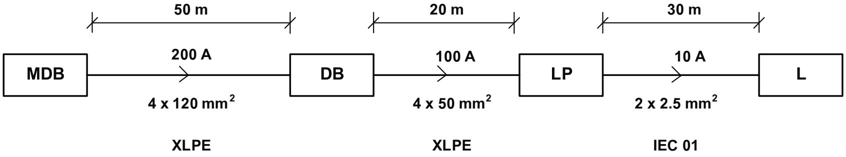
% = 4.4 x 100 / 230 = 1.9 %

ตัวอย่างที่ 9.3

ตู้ MDB มีสายป้อน 230 / 400 V จ่ายไฟให้ ตู้ DB ใช้สาย XLPE 4 x 120 mm^2 ยาว 50 m จ่ายไฟ 200 A ตู้ DB จ่ายไฟให้แผงไฟ LP ใช้สาย XLPE 4 x 50 mm^2 ยาว 20 m จ่ายไฟ 100 A

จากแผงไฟ LP ไปยังโหลด สาย IEC 01 2 x 2.5 mm^2

I = 10 A, L = 30 m VD จะเป็นเท่าไร



วิธีทำ

เนื่องจากมีโหลด 1 เฟส และ 3 เฟส

การคำนวณ VD ต้องปรับให้เหมือนกัน

ในที่นี้ใช้คิด แบบ 3 เฟส 4 สาย จาก ตู้ MDB ไปยัง ตู้ DB

สาย XLPE 4 x 120 mm^2

จากตาราง ฐ 3 VD(T) = 0.42 mV / A / m

I = 200 A, L = 50 m

VD = 0.42 x 200 x 50 / 1000 = 4.2V

จากตู้ DB ไปยังตู้ LP

สาย XLPE 4 x 50 mm^2

จากตาราง ฐ 3 VD(T) = 0.91 mV / A / m

I = 100 A, L = 20 m

VD = 0.91 x 100 x 20 / 1000 = 1.8 V

VD แบบ 3 เฟส รวม 4.2 + 1.8 = 6.0 V

แปลงเป็น แบบ 1 เฟส 6.0 / 1.732 = 3.5 V

จากแผงไฟ LP ไปยังโหลด

สาย IEC 01 2 x 2.5 mm²

จากตาราง ฐ 1 VD(T) = 18 mV / A / m

I = 10 A, L = 30 m

VD = 18 x 10 x 30 / 1000 = 5.4 V

VD ทั้งหมด = 3.5 + 5.4

= 8.9 V

= 8.9 x 100 / 230

= 3.9 %

ถ้าใช้สายวงจรย่อย 2 x 4 mm²

วงจรย่อย ใช้สาย 2 x 4 mm², VD(T) = 11 mV / A / m

VD = 11 x 10 x 30 / 1000

= 3.3 V

VD ทั้งหมด = 3.5 + 3.3

= 6.8 V

= 6.8 x 100 / 230

= 3.0 %

9.7 ตารางแรงดันตกไม่เกิน 2 % และ 3 % สำหรับการติดตั้งกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 5

เนื่องจากการติดตั้งกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 5 มีการใช้งานมากที่สุด จึงได้ทำตารางแรงดันตกไม่เกิน 2 % และ 3 % สำหรับสาย PVC และสาย XLPE แกนเดียว

กระแสที่ใช้คำนวณคือ กระแสเต็มพิกัด ในการใช้งานจริงจะใช้กระแสน้อยกว่านี้ความยาวสายก็จะเพิ่มขึ้น ตารางที่ทำมี 8 ตาราง สำหรับไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส ขอให้ดูในภาคผนวก

บทที่

10 การต่อลงดิน (Grounding)

10.1 บทนำ

ข้อกำหนดที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งในการออกแบบ และติดตั้งระบบไฟฟ้า คือ การต่อลงดิน (Grounding หรือ Earthing) มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่สำคัญๆ ของโลกเช่น NEC และ IEC ต่างก็ให้ความสำคัญในเรื่องนี้เป็นอย่างมากเช่น

NEC Article 250 “Grounding and Bonding”

IEC 364-5-54 “Earthing Arrangement and Protective Conductors”

สำหรับประเทศไทยนั้นวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ได้จัดทำข้อกำหนดเกี่ยวกับการต่อลงดินไว้ในบทที่ 4 “การต่อลงดิน” ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

ข้อกำหนดในการต่อลงดินของ วสท. ส่วนมากแปล และเรียบเรียงจาก NEC Article 250

10.2 ชนิดการต่อลงดินและส่วนประกอบต่างๆ

การต่อลงดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)
2. การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

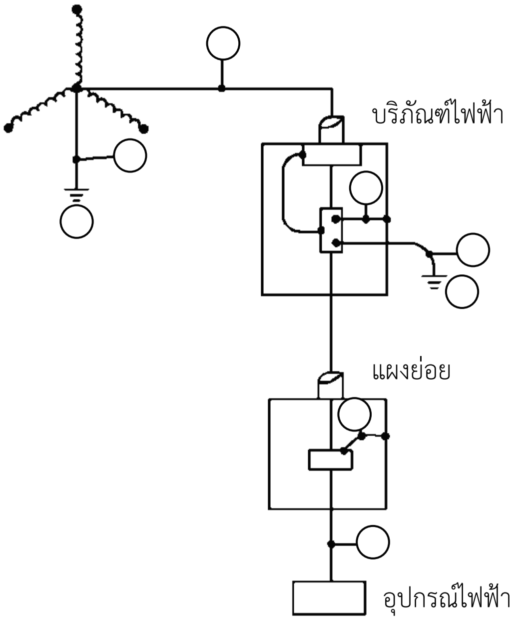
การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า หมายถึงการต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านลงดิน เช่น การต่อจุดนิวทรัล (Neutral Point) ลงดิน

การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า หมายถึงการต่อส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของอุปกรณ์ต่างๆ ลงดิน

การต่อลงดินมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1. หลักดินหรือระบบหลักดิน (Grounding Electrode or Grounding Electrode System)
2. สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductor)
3. สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductor)
4. สายต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper)
5. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor)
6. สายต่อฝากบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Bonding Jumper)

ดังแสดงในรูปที่ 10.1



รูปที่ 10.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบการต่อลงดิน

10.3 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า หมายถึงการต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าซึ่งมีกระแสไหลผ่าน เช่น จุดนิวทรัล (Neutral Point) ลงดิน

จุดประสงค์ของการต่อลงดินของระบบไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้คือ

1. เพื่อจำกัดแรงดันเกิน (Over Voltage) ที่ส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้าซึ่งอาจเกิดจากฟ้าผ่า (Lightning) เสิร์จในสาย (Line Surges) หรือสัมผัสกับสายแรงสูง (H.V. Lines) โดยบังเอิญ

2. เพื่อให้ค่าแรงดันเทียบกับดินขณะระบบทำงานปกติมีค่าอยู่ตัว

3. เพื่อช่วยให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้นเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน

10.3.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC System Grounding)

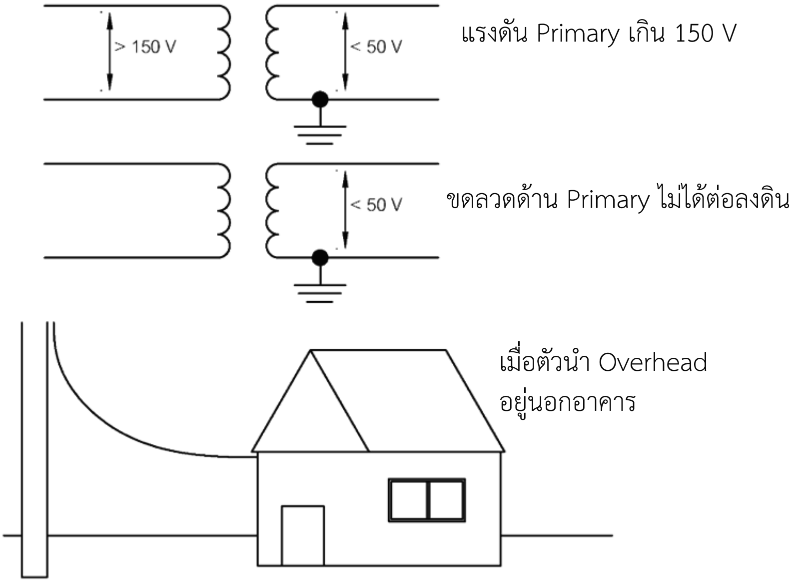
การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับแรงดันต่ำอาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันต่ำกว่า 50 V
2. ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 50 - 1000 V

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันต่ำกว่า 50 V (NEC)

ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันต่ำกว่า 50 V จะต้องทำการต่อลงดินเมื่อ

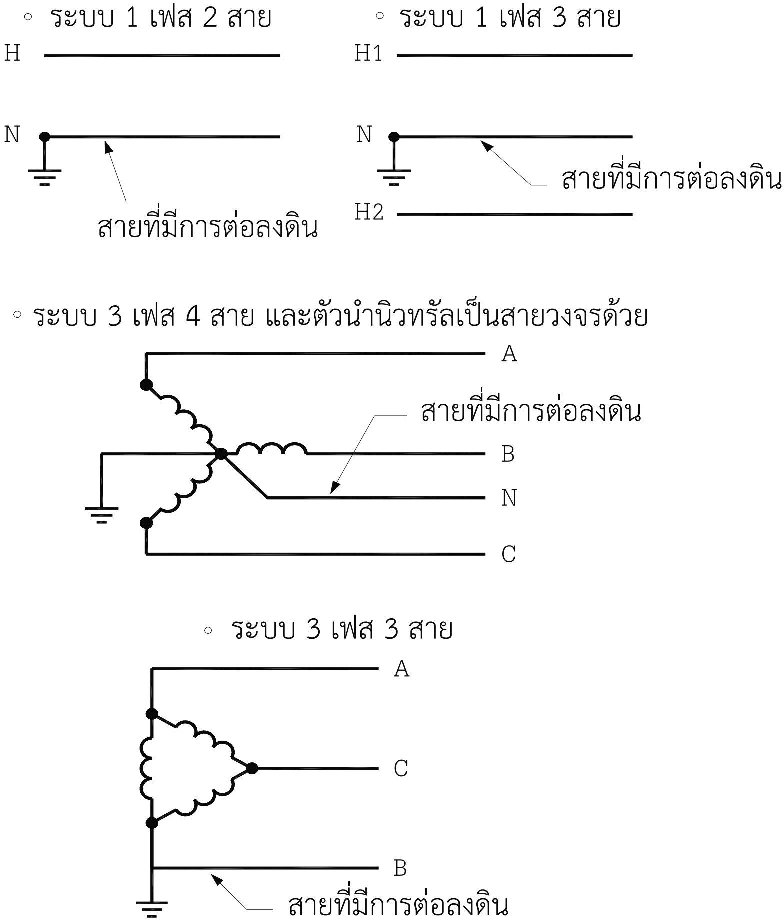
- แรงดันที่ได้รับไฟจากหม้อแปลงซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟแรงดันเกิน 150 V
- หม้อแปลงได้รับจากไฟแหล่งจ่ายไฟที่ไม่มีการต่อลงดิน (Ungrounded System)
- ตัวนำแรงดันต่ำติดตั้งแบบสายเหนือดินนอกอาคาร



รูปที่ 10.2 การต่อลงดินระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำกว่า 50 V

2. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 50 - 1000 V

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแบบนี้มีลักษณะดังรูป 10.3 ซึ่งเป็นตัวอย่างการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าชนิด 1 เฟส 2 สาย, 1 เฟส 3 สาย, 3 เฟส 3 สาย และ 3 เฟส 4 สาย



รูปที่ 10.3 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับ
แรงดันตั้งแต่ 50 V - 1000 V

10.3.2 ขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

การเลือกขนาดสายต่อหลักดินสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ จะใช้ตามตารางที่ 10.1 เป็นเกณฑ์ โดยเลือกตามขนาดสายประธานของระบบ สายประธานของแต่ละเฟสที่ต่อขนานกันให้คิดขนาดรวมกัน แล้วนำมาหาขนาดสายต่อหลักดิน

ตารางที่ 10.1 (ตาราง 4 - 1)

ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
ไม่เกิน 35	10*
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน 300 แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95

หมายเหตุ *แนะนำให้ติดตั้งในท่อโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง ท่อโลหะบาง หรือท่ออโลหะ

ตัวอย่างที่ 10.1

บ้านหลังหนึ่งใช้ไฟฟ้ามิเตอร์ 15 (45) A 1 เฟส 2 สาย ใช้สายไฟขนาด 2 x 16 mm^2 IEC 01 สายต่อหลักดินจะใช้ขนาดเท่าใด

วิธีทำ

จากตารางที่ 10.1

สายเมนขนาด 16 mm^2

ใช้สายต่อหลักดินขนาด 10 mm^2

ตัวอย่างที่ 10.2

สถานประกอบการแห่งหนึ่งใช้ไฟฟ้ามิเตอร์ 400 A 3 เฟส 4 สาย ใช้สายไฟ NYY ขนาด 2 (4 x 150 mm^2) ในท่อขนาดกลาง (IMC) 2 x 80 mm (3”) สายต่อหลักดินจะใช้ขนาดเท่าใด

วิธีทำ

สายเฟสใช้ขนาด 2 x 150 = 300 mm^2

จากตารางที่ 10.1 สายประธานขนาด 185 - 300 mm^2

ใช้สายต่อหลักดินขนาด 50 mm^2

ตัวอย่างที่ 10.3

สถานประกอบการใช้หม้อแปลงขนาด 1000 kVA, 22 kV / 230 - 400 V 3 เฟส 4 สาย ทางด้านแรงดันต่ำจะต้องใช้สายต่อหลักดินขนาดเท่าใด

วิธีทำ

หม้อแปลง 1000 kVA

แรงดันด้านแรงต่ำ 400/230V

$$\text{กระแสพิกัด} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 1443 \text{ A}$$

$$I_C \geq 1.25\ 1443 = 1804 \text{ A}$$

ใช้สาย NYY เดินบนรางเคเบิล

6 (3 x 240, 1 x 120 mm^2)

ขนาดสายเฟสรวม 6 x 240 = 1440 mm^2

จากตาราง 10.1 ขนาดสายประธานเกิน 500 mm^2

ใช้สายต่อหลักดินขนาด 95 mm^2

10.4 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ประธาน (Service Equipment Grounding)

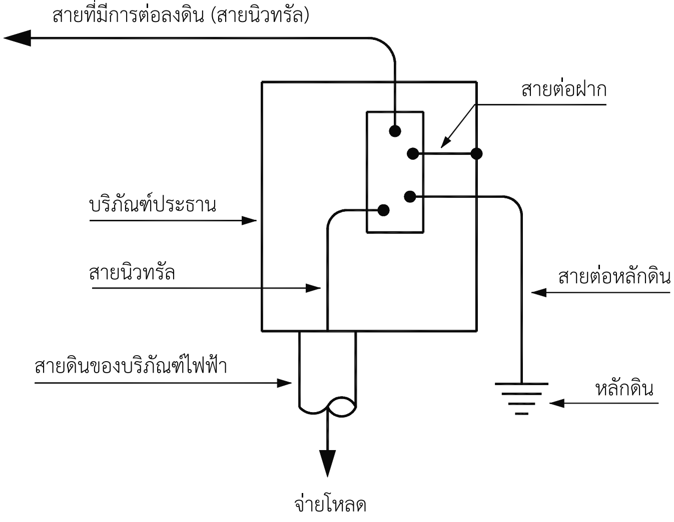
ระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน การต่อลงดินมีข้อกำหนด ดังนี้

1) จุดต่อลงดินต้องอยู่ในจุดที่เข้าถึงสะดวก ที่ปลายตัวนำหรือบัส หรือขั้วต่อที่ต่อเข้ากับตัวนำนิวทรัล ของตัวนำประธาน ภายในบริภัณฑ์ประธาน

2) สายที่มีการต่อลงดิน (สายนิวทรัล) ส่วนโลหะ เครื่องบริภัณฑ์ประธานต้องต่อเข้ากับหลักดิน ผ่านสายต่อหลักดิน

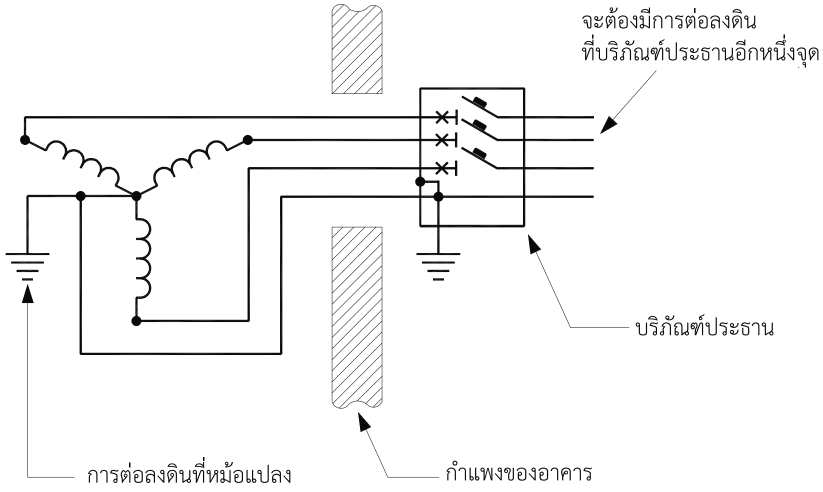
3) ในกรณีหม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งภายนอกอาคารจะต้องต่อลงดินเพิ่มอีกอย่างน้อย 1 จุดทางด้านไฟออกของหม้อแปลงไฟฟ้า

4) ห้ามต่อลงดินที่จุดอื่นๆ อีกทางด้านไฟออกของบริภัณฑ์ประธาน การต่อลงดินของบริภัณฑ์ประธานจะต้องกระทำทางด้านไฟเข้าเสมอ (Supply Side) ดังแสดงในรูปที่ 10.4



รูปที่ 10.4 แสดงสายต่างๆ ที่บริภัณฑ์ประธาน

สถานประกอบการที่รับไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงที่ติดตั้งนอกอาคารจะต้องมีการต่อลงดิน 2 จุด คือที่ใกล้หม้อแปลงหนึ่งจุด และที่บริภัณฑ์ประธานอีกหนึ่งจุดดังแสดงในรูปที่ 10.5



รูปที่ 10.5 การต่อลงดินที่หม้อแปลงนอกอาคาร และที่บริภัณฑ์ประธาน

ส่วนประกอบของการต่อลงดินของระบบประธาน

การต่อลงดินของระบบประธาน มีความสำคัญมาก ต้องศึกษาให้เข้าใจซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

1. สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductor)
2. สายต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper)
3. สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductor)

การคำนวณส่วนประกอบของการต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน

1. สายที่มีการต่อลงดิน มีการหา 2 วิธี คือ
   a) เป็นสายสำหรับกระแส Ground Fault ขนาดคิดตามหนังสือมาตรฐาน วสท. ตารางที่ 4 - 1 ถ้าขนาด Ungrounded Conductor มากกว่า 500 mm² ให้คิด 12.5 % ขนาดรวม Ungrounded Conductor
   b) เป็นทั้งสายสำหรับ Ground Fault และสายวงจร คือ สาย Neutral ขนาดคิดตามกระแสไม่สมดุลสูงสุด โดยทั่วไปอาจเลือกเป็น Full หรือ Half Neutral ซึ่งที่ 2 กรณี ก็จะใหญ่กว่าข้อ a) เสมอ
2. สายต่อฝากหลัก

เป็นสายสำหรับทางไหลของกระแส Ground Fault ขนาดคิดตามหนังสือมาตรฐาน วสท. ตารางที่ 4 - 1 และ ถ้าสาย Ungrounded Conductor ใหญ่กว่า 500 mm² ให้คิด 12.5 %

3. สายต่อหลักดินขนาดคิดตามหนังสือมาตรฐาน วสท. ตารางที่ 4 - 1

ตัวอย่างที่ 10.4

ระบบประธานแบบ 3 เฟส มีสาย Ungrounded Conductor 2 ชุด ต่อขนานกัน ขนาด 2 (3 x 400 mm^2)

จงหาขนาด

1. สายที่มีการต่อลงดิน
   - ไม่ได้เป็นสายวงจร
   - เป็นสายวงจร (Neutral)
2. สายต่อฝากหลัก
3. สายต่อหลักดิน

วิธีทำ

1. สายที่มีการต่อลงดิน

- ไม่ได้เป็นสายวงจร

ขนาดสายเฟสรวม = 2 x 400

= 800 mm^2

เนื่องจากขนาดสายเฟสรวมมีขนาดใหญ่กว่า 500 mm^2

ใช้ 12.5 % ของสายเฟสรวม

สายที่มีการต่อลงดิน = 0.125 x 800

= 100 mm^2

ใช้สายขนาด 120 mm^2

2. สายต่อฝากหลัก

สายต่อฝากหลัก = 0.125 x 800

= 100 mm^2

ใช้สายขนาด 120 mm^2

3. สายต่อหลักดิน

ขนาดสายตาม ตารางที่ 4 - 1

เกิน 500 mm^2

ใช้สายขนาด 95 mm^2

สายที่มีการต่อลงดิน ซึ่งใช้เป็นสายวงจรด้วย เช่น เป็นสาย Neutral การหาขนาดสาย Neutral ต้องทำตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. ข้อ 3.2.4 และ ข้อ 3.4 ซึ่งหาตามกระแสไม่สมดุลสูงสุดที่เกิดขึ้น ถ้าระบบไฟฟ้ามีโหลดแบบ 3 เฟส เช่น โหลดมอเตอร์ มากกว่า 50 % อาจใช้ Neutral ประมาณ 50 % ของสายเฟส ซึ่งก็ใหญ่กว่ากรณีแรก แสดงว่าสาย Neutral สามารถใช้เป็นสายวงจร และสายสำหรับทางผ่านของ Ground Fault ได้

กรณีไม่เป็นสายวงจร

2 (3 x 400, 1 x 120 mm^2)

กรณีเป็นสายวงจร

2 (3 x 400, 1 x 240 mm^2)

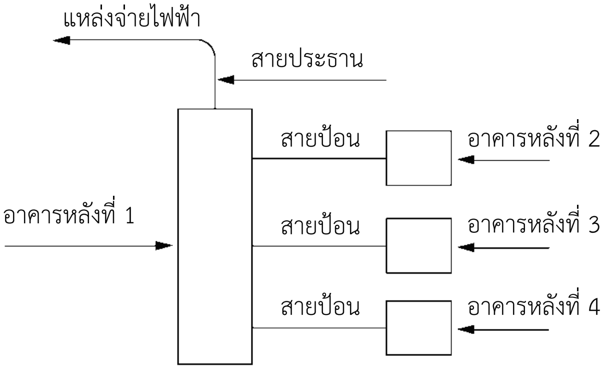
2 (4 x 400 mm^2)

สำหรับสายต่อฝากหลัก ใช้สายขนาด 120 mm^2

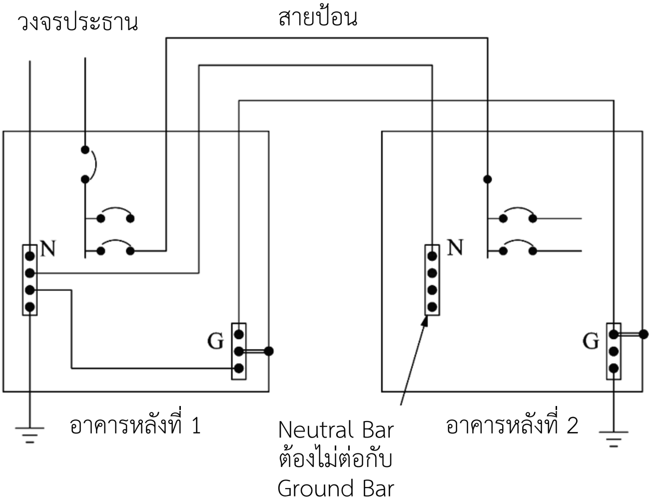
และสายต่อหลักดิน ใช้สายขนาด 95 mm^2

10.5 การต่อลงดินของวงจรที่มีบริภัณฑ์ประธานชุดเดียวจ่ายไฟให้อาคาร 2 หลังหรือมากกว่า

- แต่ละอาคารต้องมีหลักดิน
- สายดินบริภัณฑ์ไฟฟ้า ต้องเดินพร้อมสายจ่ายไฟ เพื่อไปต่อกับโครงสร้างเครื่องหุ้ม ห่อหุ้ม และต่อเข้ากับหลักดิน



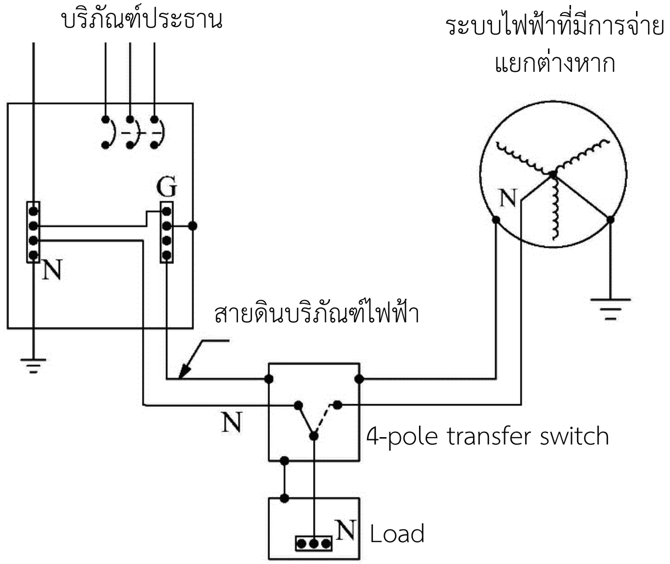
รูปที่ 10.6 การจ่ายไฟฟ้าของอาคารประธานให้กับอาคารหลังอื่นๆ



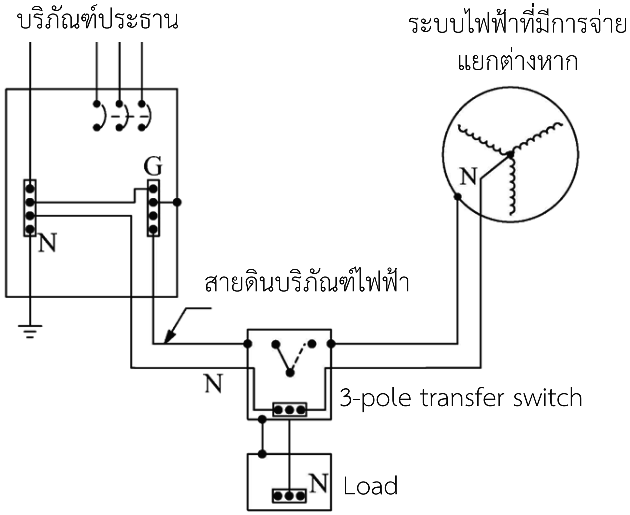
รูปที่ 10.7 อาคารแต่ละหลังต้องมีหลักดินเป็นของตัวเอง

10.6 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก (Separately Derived System)

ระบบที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก หมายถึง ระบบการเดินสายภายในซึ่งจ่ายไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า หรือขดลวดคอนเวอร์เตอร์ และไม่มีการต่อถึงกันทางไฟฟ้าโดยตรง รวมทั้งระบบสายดินกับสายจ่ายไฟฟ้าจากระบบอื่น ตัวอย่างของระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก ดังแสดงในรูปที่ 10.8 และ 10.9



รูปที่ 10.8 ระบบไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวจ่ายแยกต่างหาก
พร้อมสวิตช์สับเปลี่ยน



รูปที่ 10.9 ระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พร้อมสวิตช์สับเปลี่ยน แต่ไม่มีการตัดสายนิวทรัลระบบนี้ไม่ใช่ระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก

การต่อลงดิน

ถึงแม้ว่าระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหากจะไม่ใช่ระบบประธาน (Service) แต่ในทางปฏิบัติจะถือว่าเป็นระบบประธานดังนั้นการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหากจึงใช้ตามหลักการของบริภัณฑ์ประธาน คือจะประกอบด้วยสายที่มีการต่อลงดินสายต่อฝากหลักสายต่อหลักดิน โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะต่อร่วมกันเข้ากับหลักดิน

นอกจากนี้จะต้องใช้หลักดินที่อยู่ใกล้กับตัวจ่ายแยกต่างหากมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง Standby Generator การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องทำอย่างไร

การต่อลงดินอาจแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

1) เมื่อทั้ง 2 ระบบใช้สาย Neutral ร่วมกันและ Tie CB เป็นชนิด 3 Pole

2) เมื่อทั้ง 2 ระบบใช้สาย Neutral แยกกันและ Tie CB เป็นชนิด 4 Pole

กรณีที่ 1

เนื่องจากระบบทั้ง 2 ใช้ Neutral ร่วมกันดังนั้นระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่ถือว่าเป็น Separately Derived System การต่อลงดินต้องกระทำที่ตู้ MDB ของระบบเมนเท่านั้น จุด Neutral ของ Generator ห้ามต่อลงดิน

กรณีที่ 2

ระบบ Generator ถือว่าเป็น Separately Derived System จุด Neutral ของ Generator ต้องต่อลงดินและมีหลักดินแยกต่างหาก

10.7 การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าหมายถึงการต่อส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของสถานประกอบการให้ถึงกันตลอด แล้วต่อลงดิน

การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้ามีจุดประสงค์ดังนี้คือ

1. เพื่อให้ส่วนโลหะที่ต่อถึงกันตลอดมีศักดาไฟฟ้าเท่ากับดินทำให้ปลอดภัยจากการโดนไฟดูด

2. เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้นเมื่อตัวนำไฟฟ้าแตะเข้ากับส่วนโลหะใดๆ เนื่องจากฉนวนของสายไฟฟ้าชำรุดหรือเกิดอุบัติเหตุ

3. เป็นทางผ่านให้กระแสรั่วไหลและกระแสเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิตลงดิน

10.7.1 เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

ประเภทของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่จะต้องต่อลงดินมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องห่อหุ้มที่เป็นโลหะของสายไฟฟ้าแผงบริภัณฑ์ประธานโครงและรางปั้นจั่นที่ใช้ไฟฟ้าโครงของตู้ลิฟต์และลวดสลิงยกของที่ใช้ไฟฟ้า

2. สิ่งกั้นที่เป็นโลหะรวมทั้งเครื่องห่อหุ้มของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าในระบบแรงสูง

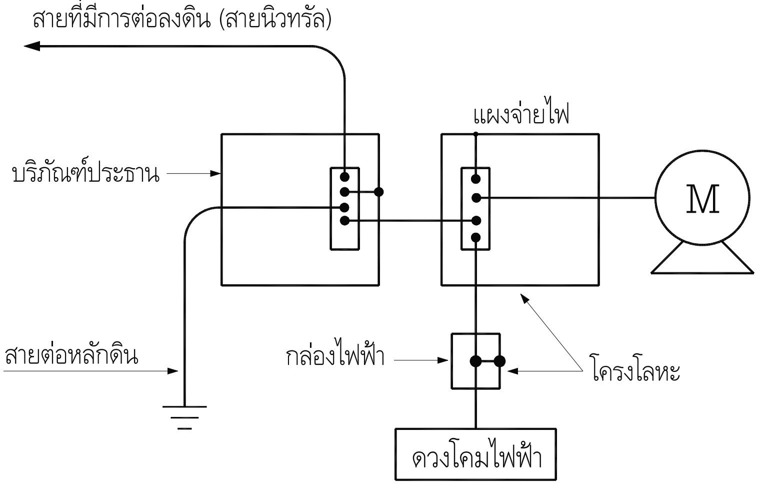
3. เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ยึดติดอยู่กับที่ (Fixed Equipment) และชนิดที่มีการเดินสายถาวร (Hard Wires) ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้าแต่อาจมีไฟฟ้ารั่วถึงได้ต้องต่อลงดิน

4. เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับยึดติดกับที่ต่อไปนี้ต้องต่อส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งและปกติไม่มีกระแสไฟฟ้าลงดิน
   - โครงของแผงสวิตช์
   - โครงของมอเตอร์ชนิดยึดอยู่กับที่
   - กล่องของเครื่องควบคุมมอเตอร์ถ้าใช้เป็นสวิตช์ธรรมดา และมีฉนวนรองที่ฝาสวิตช์ด้านในก็ไม่ต้องต่อลงดิน
   - เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าของลิฟต์และปั้นจั่น
   - ป้ายโฆษณาเครื่องฉายภาพยนตร์เครื่องสูบน้ำ

5. เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องต่อลงดินเมื่อมีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งดังนี้
   - แรงดันเทียบกับดินเกิน 150 V ยกเว้นมีการป้องกันอย่างอื่นหรือมีฉนวนอย่างดี
   - เครื่องไฟฟ้าทั้งที่ใช้ในที่อยู่อาศัยและที่อื่นๆ

10.7.2 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor)

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าหมายถึงตัวนำที่ใช้ต่อส่วนโลหะที่ไม่นำกระแสของบริภัณฑ์ช่องเดินสายที่ล้อมเข้ากับตัวนำที่มีการต่อลงดินของระบบ และ/หรือตัวนำ ที่บริภัณฑ์ประธาน หรือที่แหล่งจ่ายไฟของระบบแยกต่างหากดังแสดงในรูปที่ 10.10



รูปที่ 10.10 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

ชนิดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เดินสายร่วมไปกับสายของวงจรจะต้องเป็นดังนี้

- ตัวนำทองแดงจะหุ้มฉนวนหรือไม่หุ้มฉนวนก็ได้
- เปลือกโลหะของสายเคเบิลชนิด AC, MI และ MC
- บัสเวย์ที่ได้ระบุให้ใช้แทนสายสำหรับต่อลงดินได้

10.7.3 ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

การหาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าทำตามข้อต่างๆ ต่อไปนี้

- เลือกขนาดสายดินตามขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกินตามตารางที่ 10.2
- เมื่อเดินสายควบถ้ามีสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าให้เดินขนานกันไปในแต่ละท่อสายและขนาดสายดินให้คิดตามพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน
- เมื่อมีวงจรมากกว่าหนึ่งวงจรเดินในท่อสายอาจใช้สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าร่วมกันได้และให้คำนวณขนาดสายดินตามพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวโตที่สุด
- ขนาดสายดินของมอเตอร์ให้เลือกตามพิกัดของเครื่องป้องกันเกินกำลังของมอเตอร์

พิกัดของเครื่องป้องกันเกินกำลัง = $1.15\ I_n$

โดยที่ I_n คือพิกัดกระแสของมอเตอร์

- สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องโตกว่าสายเฟส

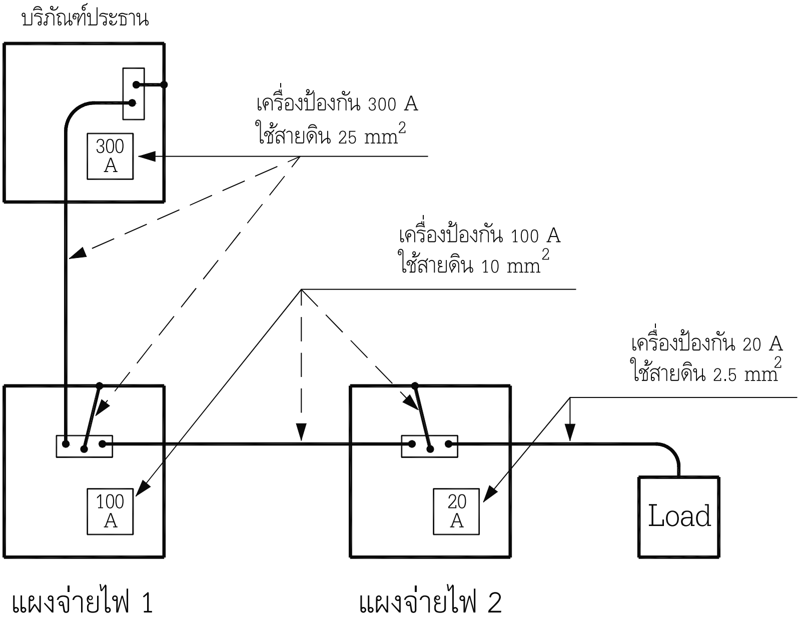
ตารางที่ 10.2 (ตาราง 4 – 2)

ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (A)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (mm^2)
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

ตัวอย่างที่ 10.5

ระบบไฟฟ้าหนึ่งประกอบด้วยบริภัณฑ์ไฟฟ้า และแผงจ่ายไฟดังรูปจงหาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เดินจากบริภัณฑ์ประธาน และแผงจ่ายไฟ



วิธีทำ

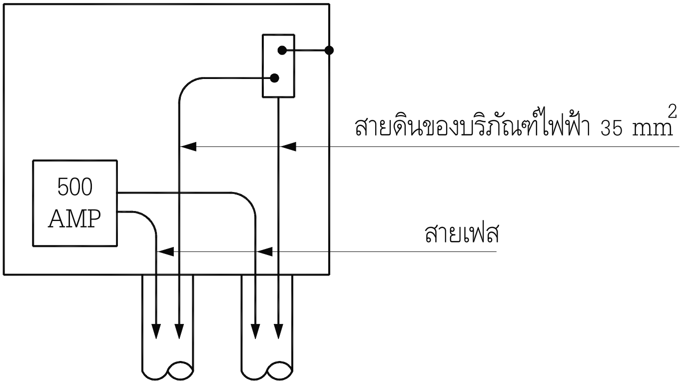
จากตาราง 10.2 ใช้ขนาดสายดินดังนี้

บริภัณฑ์ประธาน	เครื่องป้องกัน 300 A	ขนาดสายดิน	25 mm^2
แผงจ่ายไฟ 1	เครื่องป้องกัน 100 A	ขนาดสายดิน	10 mm^2
แผงจ่ายไฟ 2	เครื่องป้องกัน 20 A	ขนาดสายดิน	2.5 mm^2

จะเห็นว่าขนาดสาย Bonding Jumper ที่แผงจ่ายไฟจะใช้เท่ากับขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่จ่ายมายังแผงจ่ายไฟนั้นด้วย

ตัวอย่างที่ 10.6

บริภัณฑ์ประธานมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 500 A ต่อกับวงจรซึ่งประกอบด้วยสายควบ 2 ชุด เดินในท่อร้อยสายท่อละ 1 ชุด ดังรูปจงหาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า



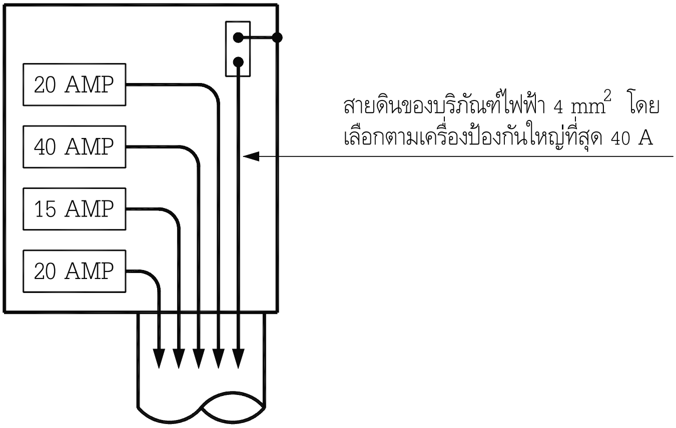
วิธีทำ

วงจรประกอบด้วยสายควบ 2 ชุด เดินในท่อร้อยสายท่อละ 1 ชุดดังนั้นจะต้องเดินสายดิน 2 เส้นในแต่ละท่อโดยสายดินแต่ละเส้นเลือกตามขนาดเครื่องป้องกัน

จากตารางที่ 10.2 กรณีเครื่องป้องกัน 500 A ใช้ขนาดสายดิน 35 mm^2

ตัวอย่างที่ 10.7

วงจรจ่ายโหลด 4 วงจรที่ต่อจากแผงจ่ายไฟแห่งหนึ่งต้องการเดินในท่อสายร่วมกันโดยแต่ละวงจรมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 20 A, 40 A, 15 A และ 20 A ดังรูปจงหาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกันในท่อสาย



วิธีทำ

ขนาดสายดินที่ใช้ร่วมกันจะต้องเลือกตามเครื่องป้องกันที่มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ 40 A จากตารางที่ 10.2 กรณีเครื่องป้องกัน 40 A ใช้สายดิน 4 mm^2

ตัวอย่างที่ 10.8

มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 22 kW, 400 V (44 A), 3 เฟสจงหาขนาดสายไฟเดินในท่อโลหะในอากาศ

วิธีทำ

$I_C \geq 1.25 \times In$

$\geq 1.25 \times 44$

≥ 55 A

สาย NYY 3 x 16 mm^2 (56 A)

หาขนาดสายดิน

$I_L = 1.15 \times In$

$= 50.6$ A

สายดิน 6 mm^2

$\therefore$ สายวงจรมอเตอร์ 3 x 16 mm^2

G-6 mm^2

ϕ32 mm (1 1/4”)

10.8 หลักดิน (Grounding Electrode)

หลักดิน คือตัวนำซึ่งต่อโดยตรงเข้ากับดิน หลักดินมีหน้าที่ ที่จะต่อระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับดิน ดินถือว่ามีศักดาเป็นศูนย์ หน้าที่อีกอย่างของหลักดินคือ กระจายแรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่า หรือแตะกับระบบ HV เข้าไปในดิน

10.8.1 หลักดินที่นิยมใช้

หลักดินที่นิยมใช้มี 4 แบบ คือ

1. หลักดินแบบแนวดิ่ง หรือ แท่งดิน (Ground Rod)
2. หลักดินแบบรัศมี (Radial Electrode)
3. หลักดินแบบวงแหวน (Ring Electrode)
4. หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต (Concrete Encased Electrode)

10.8.2 หลักดินแบบแนวดิ่งหรือแท่งดิน (Ground Rod)

เป็นหลักดินที่ใช้แท่งตัวนำตอกเข้าไปในดิน หลักดินแบบนี้นิยมใช้มากที่สุดเพราะราคาถูกและติดตั้งง่าย

แท่งดินแบบแนวดิ่ง ที่นิยมใช้เป็นแบบ

- แท่งเหล็กชุบด้วยทองแดง (Copper Clad or Copper Bonded Steel)
- เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

แท่งเหล็กชุบด้วยทองแดง (Copper - Bond Steel)

- เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว (14.2 mm)
- ยาวไม่น้อยกว่า 2.40 m

- แกนเป็น Low Carbon Steel Tensile Strength ไม่น้อยกว่า 600 N/mm^2
- ทองแดงที่ใช้หุ้มมีความบริสุทธิ์ 99.9 %
- ความหนาทองแดงที่หุ้มที่จุดใดๆ ไม่น้อยกว่า 250 m
ได้ตามมาตรฐาน UL-467, IEC 62561-2

แท่งเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

- เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว
- ยาวไม่น้อยกว่า 2.40 m
- ทำด้วย Solid Stainless Steel
- ใช้ในที่ดินมีการกัดกร่อนสูง Highly Corrosive Soils
- อายุการใช้งานยาวถึง 50 ปี

หลักดินแบบแนวดิ่งหลายหลักต่อขนานกัน

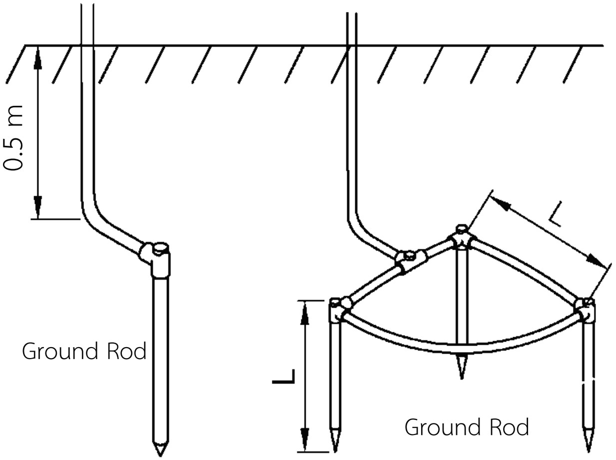
ถ้าต้องการความต้านดินน้อยลงอาจใช้หลักดินแบบแนวดิ่งหลายหลักต่อกันได้ ระยะห่างระหว่างหลักดินต้องไม่น้อยกว่าความยาวของหลักดินนิยมตอกเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า และห่างเท่ากับความยาวหลักดินในการตอกหลักดินเพิ่มแล้วต่อขนานกันจะทำให้ความต้านทานดินลดลงตามมาตรฐาน BS 7430 - 2011 ดังนี้

จำนวนหลักดิน	ตัวคูณ
2	0.58
3	0.42
4	0.34
5	0.28
6	0.24
7	0.22
8	0.19
9	0.18
10	0.16

เมื่อความต้านทานดิน 1 หลักเท่ากับหนึ่งหน่วยถ้าใช้ 2 หลักใช้ตัวคูณลดเท่ากับ 0.58 ใช้ 3 หลักใช้ตัวคูณลดเท่ากับ 0.42 ถ้าตอกหลักดิน 1 หลัก วัดความต้านทานดินได้ 10

หลักดิน 2 หลัก จะได้ค่าความต้านทานดินเท่ากับ $10 \times 0.58 = 5.8$

หลักดิน 3 หลัก จะได้ค่าความต้านทานดินเท่ากับ $10 \times 0.42 = 4.2$

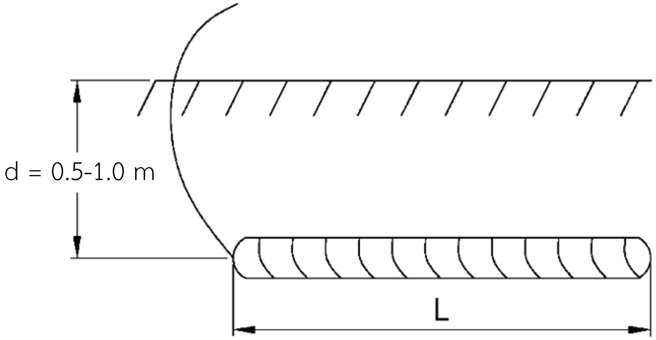


รูปที่ 10.11 หลักดินแบบแนวดิ่ง

10.8.3 หลักดินแบบรัศมี (Radial Electrode)

เป็นหลักดินที่ตัวนำวางในแนวราบ ฝังใต้ดิน และมีคุณสมบัติดังนี้

- ฝังอยู่ในดินลึกประมาณ 0.5 - 1.0 m
- ตัวนำทองแดงยาวไม่น้อยกว่า 6 m
- ตัวนำทองแดงขนาดไม่เล็กกว่า 35 (50) mm^2



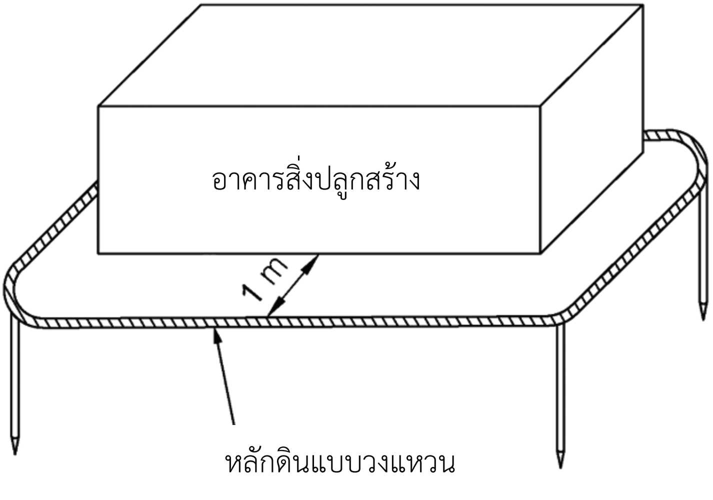
รูปที่ 10.12 หลักดินแบบแนวรัศมี

10.8.4 หลักดินแบบวงแหวน (Ring Electrode)

หลักดินแบบนี้จะฝังอยู่รอบอาคาร และมีคุณสมบัติเหมือนหลักดินแบบรัศมี คือ

- ฝังอยู่ในดินลึกประมาณ 0.5 - 1.0 m
- ตัวนำทองแดงยาวไม่น้อยกว่า 6 m
- ตัวนำทองแดงขนาดไม่เล็กกว่า 35 (50) mm^2

หลักดินระบบป้องกันฟ้าผ่าใช้ 50 mm^2

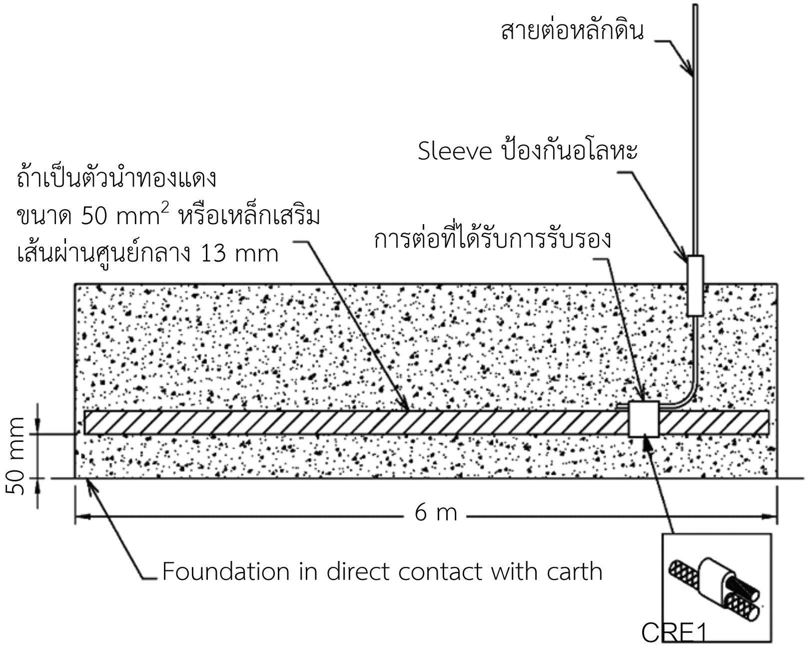


รูปที่ 10.13 หลักดินแบบวงแหวน

10.8.5 หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต (Concrete Encased Electrode)

หลักดินแบบนี้ใช้ตัวนำฝังอยู่ในฐานรากคอนกรีตของอาคาร หรือสิ่งปลูกสร้างที่มีเหล็กเสริม (Reinforcing Bar) อยู่ด้วย หลักดินแบบนี้มีคุณสมบัติ คือ

- ตัวนำต้องหุ้มด้วยคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 mm ใกล้ส่วนล่างของฐานรากซึ่งสัมผัสอย่างดีกับดิน
- ถ้าตัวนำแบบเหล็กเสริมหรือว่าแท่งเหล็กต้องยาวไม่น้อยกว่า 6 m และเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 mm
- ตัวนำทองแดงขนาดไม่เล็กกว่า 50 mm^2 ยาวไม่น้อยกว่า 6 m



รูปที่ 10.14 หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

10.8.6 การคำนวณค่าความต้านทานหลักดิน

ความต้านทานหลักดิน สามารถคำนวณได้ โดยมีหลักการดังนี้

- ค่าความต้านทานจำเพาะ ρ มีค่าคงที่ และสม่ำเสมอ
- ค่าที่คำนวณได้ เป็นค่าโดยประมาณ เท่านั้น

วิศวกรไฟฟ้า ต้องสามารถคำนวณค่าความต้านทานหลักดินได้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบหลักดิน แต่สุดท้ายค่าจริงต้องได้จากการวัดเท่านั้น

1. หลักดินแบบแนวดิ่ง

ความต้านทานหลักดินสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right] \qquad \text{...... (10.1)}$$

โดยที่

R = ความต้านทานดิน (Ω)

ρ = ความต้านทานจำเพาะ (Ω.m)

L = ความยาว (m) ของหลักดิน

d = เส้นผ่าศูนย์กลาง (m) ของหลักดิน

ln = Natural Logarithm

ตัวอย่างที่ 10.9

หลักดินแบบแนวดิ่ง ตอกลงในดินที่มี ρ = 100 Ω.m

จงหาความต้านทานของดิน

1) d = 14.2 mm, L = 3.0 m, 6 m

2) L = 3.0 m, d = 14.2 mm, 28.4 mm

วิธีทำ

1) d = 14.2 mm, L = 3.0 m, 6 m

L = 3.0 m

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right]$$

$$R = \frac{100}{2\pi\times 3}\left[ln\left(\frac{8\times 3}{0.0142}\right) - 1\right]$$

$$R = 34.1\ \Omega$$

L = 6.0 m

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right]$$

$$R = \frac{100}{2\pi\times 6}\left[ln\left(\frac{8\times 6}{0.0142}\right) - 1\right]$$

$$R = 18.9\ \Omega$$

จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความยาวของหลักดิน เป็น 2 เท่า สามารถลดความต้านทานดินได้

100 (34.1 – 18.9) / 34.1 = 44.6 %

2) L = 3.0 m, d = 14.2 mm, 28.4 mm

d = 14.2 mm

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right]$$

$$= \frac{100}{2\pi\times 3}\left[ln\left(\frac{8\times 3}{0.0142}\right) - 1\right]$$

$$= 34.1\ \Omega$$

d = 28.4 mm

$$R = \frac{100}{2\pi\times 3}\left[ln\left(\frac{8\times 3}{0.0284}\right) - 1\right]$$

$$= 30.5\ \Omega$$

การเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลักดิน เป็น 2 เท่า ลดความต้านทานดินได้เพียง

100 (34.1 – 30.5) / 34.1 = 10.6 %

2. หลักดินแบบรัศมี

หลักดินแบบนี้มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$R = \frac{\rho}{\pi L} ln\left(\frac{2L}{d}\right) \qquad \text{...... (10.2)}$$

ตัวอย่างที่ 10.10

หลักดินแบบรัศมียาว 20 m ตัวนำมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ฝังในดินที่มี ρ = 200 Ω.m ให้คำนวณหาความต้านทานดิน

วิธีทำ

$$R = \frac{\rho}{\pi L} ln\left(\frac{2L}{d}\right)$$

$$= \frac{200}{\pi \times 20} ln\left(\frac{2\times 20}{0.02}\right)$$

$$= 24.2\ \Omega$$

3. หลักดินแบบวงแหวน

หลักดินแบบวงแหวนมี สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} ln\left(\frac{2\pi D}{d}\right) \qquad \text{......} \quad (10.3)$$

โดยที่ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวน

ตัวอย่างที่ 10.11

หลักดินแบบวงแหวนมีเส้นผ่านศูนย์กลางกว้าง 80 m ตัวนำมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm และดินโดยรอบ มี ρ = 100 Ω.m ให้คำนวณหาความต้านดินของหลักดิน

วิธีทำ

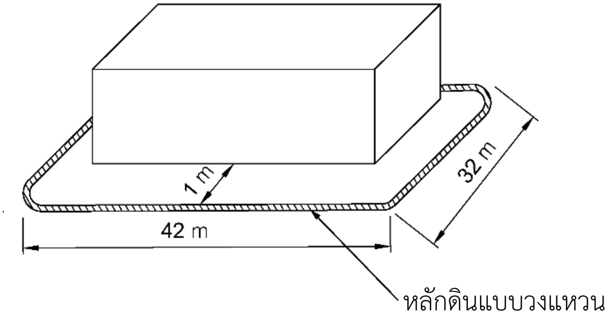
$$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} ln\left(\frac{2\pi D}{d}\right)$$

$$= \frac{100}{\pi^2 \times 80} ln\left(\frac{2\pi \times 80}{0.02}\right)$$

$$= 1.28\ \Omega$$

ตัวอย่างที่ 10.12

สถานประกอบการแห่งหนึ่ง ขนาด 30 x 40 m ใช้หลักดินวงแหวน ติดตั้งห่างจากขอบอาคารด้านละ 1 m ให้ ρ = 100 Ω.m เส้นตัวนำ 50 mm^2 จงคำนวณหาความต้านทานดิน



วิธีทำ

$$A = 32 \times 42$$
$$= 1{,}344 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$
$$= \sqrt{\frac{4 \times 1{,}344}{\pi}}$$
$$= 41.4 \text{ m}$$

$$d^2\frac{\pi}{4} = 50$$

$$d = \sqrt{\frac{4\times50}{\pi}}$$

$$= 8 \text{ mm}$$

$$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} ln\left(\frac{2\pi D}{d}\right)$$

$$= \frac{100}{\pi^2\times41.4} ln\left(\frac{2\pi\times41.4}{0.08}\right)$$

$$= 2.54\ \Omega$$

4. หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$R = \frac{\rho}{\pi D} \quad \text{...... (10.4)}$$

$$D = 1.57\sqrt[3]{V}$$

โดยที่

V = ปริมาตรของฐานราก (m^3)

ρ = ความต้านทานจำเพาะของคอนกรีต (Ω.m)

ตัวอย่างที่ 10.13

ฐานรากคอนกรีตของอาคารมี W x L x D = 20 x 30 x 1 m

ρ = 100 Ω.m ให้คำนวณหาความต้านทานดิน

วิธีทำ

$$V = 20 \times 30 \times 1$$
$$= 600 \ m^3$$

$$D = 1.57 \sqrt[3]{V}$$
$$= 1.57 \sqrt[3]{600}$$
$$= 13.2 \ m$$

$$R = \frac{\rho}{\pi D}$$
$$= \frac{100}{\pi \times 13.2}$$
$$= 2.4 \ \Omega$$

บทที่ 11 การคำนวณกระแสลัดวงจร

11.1 บทนำ

ในการเลือกใช้บริภัณฑ์ และระบบไฟฟ้านั้น นอกจากจะคำนึงถึงกระแสขณะใช้งานตามปกติแล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงกระแสขณะที่เกิดลัดวงจรด้วย การลัดวงจรหมายถึงการที่วงจรไฟฟ้าเกิดความผิดพลาดโดยอุบัติเหตุหรือความไม่ตั้งใจ ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรมีค่าลดลง ส่งผลให้กระแสไหลมากกว่ากระแสปกติหลายเท่า กระแสลัดวงจรจะทำให้เกิดความเครียดทางกล (Mechanical Stress) และความเครียดทางความร้อน (Thermal Stress) ขึ้น ซึ่งสามารถส่งผลทำให้บริภัณฑ์เสียหาย และเป็นอันตรายต่อคนได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องคำนึงถึงผลของกระแสลัดวงจรเพื่อจะได้ป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้า เป็นสิ่งจำเป็นที่สุดอย่างหนึ่งของการออกแบบระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องทราบค่ากระแสลัดวงจรล่วงหน้า เพื่อที่จะได้เลือกบริภัณฑ์ที่เหมาะสม ถ้าผู้ออกแบบเลือกใช้บริภัณฑ์ที่ทนกระแสลัดวงจรไม่เพียงพอก็อาจจะเกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สิน และชีวิตเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น ในทางกลับกันถ้าผู้ออกแบบเลือกใช้ขนาดของบริภัณฑ์ใหญ่เกินไป ราคาค่าติดตั้งระบบไฟฟ้าก็จะแพงเกินไปโดยไม่จำเป็น ดังนั้นการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดี

11.2 มาตรฐานการคำนวณกระแสลัดวงจร

เนื่องจากกระแสลัดวงจรมีความสำคัญอย่างมากต่อการเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้า หลายประเทศจึงได้มีข้อกำหนดหรือมาตรฐานในการคำนวณกระแสลัดวงจรและเพื่อให้การคำนวณเป็นไปในแนวเดียวกัน ทาง IEC (International Electrotechnical Commission) จึงได้จัดทำมาตรฐานสากลสำหรับการคำนวณกระแสลัดวงจรขึ้น คือ IEC 60909 “Short-circuit Current Calculation in Three-phase A.C. System”

มาตรฐาน IEC 60909 ได้แบ่งการคำนวณกระแสลัดวงจรออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การลัดวงจรไกลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Far-from-generator Short Circuit)
2. การลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Near-to-generator Short Circuit)

การลัดวงจรไกลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟตลอดช่วงเวลาการลัดวงจร และค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรจะมีค่าคงที่ด้วย

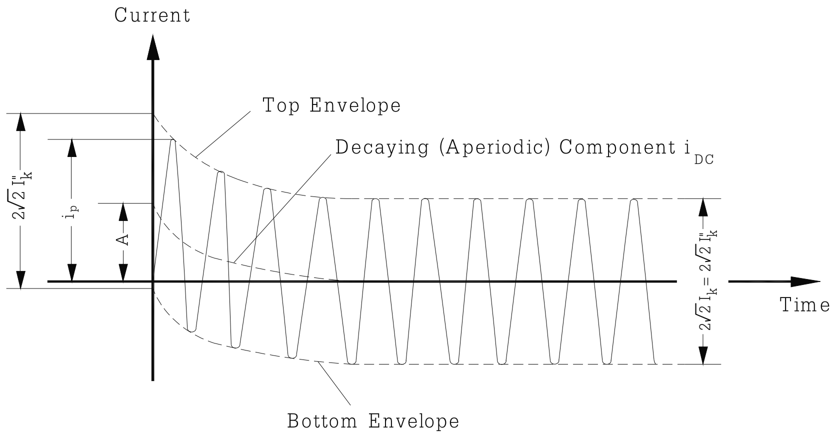
ส่วนการลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสลัดวงจรส่วน A.C. จะค่อยๆ มีค่าลดลง

สถานประกอบการส่วนมากจะรับไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายแรงดันสูง แรงดันปานกลาง และแรงดันต่ำของทางการไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าดังที่กล่าวมานี้เป็นระบบที่ถือว่าไกลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวเฉพาะการลัดวงจรไกลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เมื่อเกิดการลัดวงจรไกลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้น กระแสลัดวงจรจะเป็นผลของกระแส 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1. ส่วนประกอบ A.C. ซึ่งมีขนาดคงที่ ตลอดระยะเวลาการเกิดลัดวงจร

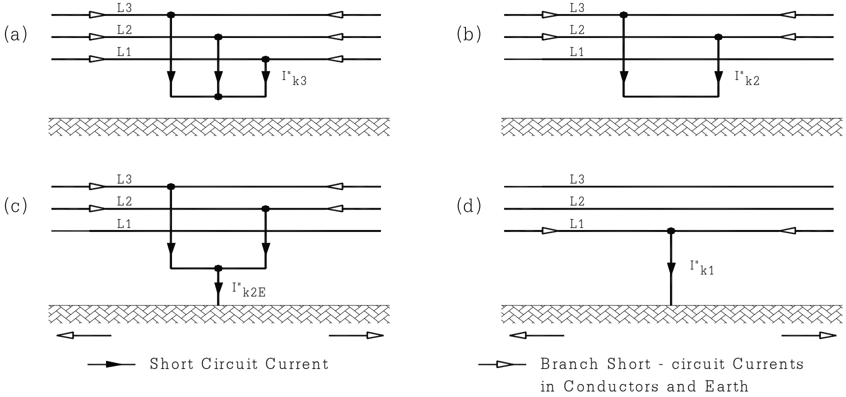
2. ส่วนประกอบ D.C. ซึ่งมีค่าสูงสุดค่าหนึ่ง และค่อยๆ มีค่าลดลงจนเป็นศูนย์



รูปที่ 11.1 แสดงรูปคลื่นของกระแสลัดวงจรไกลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การลัดวงจรของระบบไฟฟ้าอาจแบ่งเป็น 4 ชนิด คือ

1. การลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล I_{k3}, I_k
   (Balanced Three-Phase Short Circuit)
2. การลัดวงจรแบบสายถึงสายไม่ต่อกับดิน I_{k2}
   (Line to Line Short Circuit Without Earth Connection)
3. การลัดวงจรแบบสายถึงสายต่อกับดิน I_{k2E}
   (Line to Line Short Circuit With Earth Connection)
4. การลัดวงจรแบบสายถึงดิน I_{k1}
   (Line to Earth Short Circuit)



a) Balance Three Phase Short Circuit.
b) Line to Line Short Circuit Without Earth Connection.
c) Line to Line Short Circuit With Earth Connection.
d) Line to Earth Short Circuit.

รูปที่ 11.2 ชนิดของการลัดวงจร

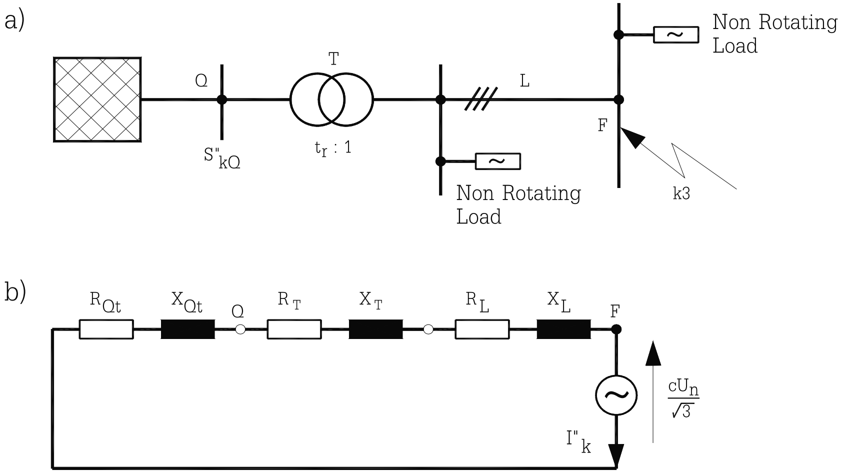
การลัดวงจรแบบสายถึงดินเกิดบ่อยที่สุด และการลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล โดยทั่วไปจะให้กระแสลัดวงจรสูงสุด และการคำนวณจะใช้ Positive Sequence Impedance เพียงอย่างเดียว

11.3 แหล่งจ่ายไฟสมมูล

ตาม IEC 60909 เมื่อเกิดการลัดวงจรที่จุดใดๆ ในวงจรไฟฟ้า ณ จุดนั้นอาจจะแทนได้ด้วยแหล่งจ่ายไฟสมมูล (Equivalent Voltage Source) โดยที่แหล่งจ่ายไฟสมมูลจะเป็นแหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียวในระบบ ส่วนระบบไฟฟ้าเครื่องจักรกลซิงโครนัส และเครื่องจักรกลอซิงโครนัส จะแทนด้วยค่าอิมพีแดนซ์ภายในของมัน

รูปที่ 11.3 แสดงตัวอย่างของแหล่งจ่ายไฟสมมูล ณ ตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจร F ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียวในระบบ ส่วนแหล่งจ่ายไฟอื่นๆ ในระบบให้มีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งลัดวงจร F แหล่งจ่ายไฟสมมูลจะมีค่า $\frac{cU_n}{\sqrt{3}}$ โดย c คือตัวประกอบแรงดัน (Voltage Factor) และ U_n คือ แรงดันของระบบที่ใช้

ค่าตัวประกอบแรงดัน c จะมีค่าแตกต่างกันไปตามระบบแรงดันที่ใช้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11.1



รูปที่ 11.3 แสดงตัวอย่างของแหล่งจ่ายไปสมมูล

ตารางที่ 11.1 Voltage Factor c

Nominal Voltage U_a	Voltage Factor c for the Calculation of	
	Maximum Short - circuit Current C_{max}	Minimum Short - circuit Current C_{min}
Low Voltage 100 V to 1000 V (IEC Publication 38, Table I) a) 230 V / 400 V b) Other Voltages	 1.05 1.10	 0.95 1.00
Medium Voltage > 1 kV to 35 kV (IEC Publication 38, Table III)	1.10	1.00
High Voltage > 35 kV to 230 kV (IEC Publication 38, Table IV)	1.10	1.00

Note. - cU_a Should Not Exceed the Highest Voltage U_m for Equipment of Power System

11.4 อิมพีแดนซ์ลัดวงจร

ในการคำนวณกระแสลัดวงจร นอกจากจะต้องทราบค่าแหล่งจ่ายไฟสมมูลแล้ว ยังจำเป็นจะต้องทราบค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรด้วย

ค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจร อาจแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามหลักของ Symmetrical Components คือ

$Z_{(1)}$	Positive Sequence Impedance
$Z_{(2)}$	Negative Sequence Impedance
$Z_{(0)}$	Zero Sequence Impedance

$Z_{(1)}$	ใช้ในการคำนวณกระแสลัดวงจร แบบ สามเฟสสมดุล
$Z_{(1)}$, $Z_{(2)}$	ใช้ในการคำนวณการลัดวงจร แบบสายถึงสายไม่ต่อกับดิน
$Z_{(1)}$, $Z_{(2)}$, $Z_{(0)}$	ใช้ในการคำนวณการลัดวงจร แบบสายถึงสายต่อกับดิน และ การลัดวงจรแบบสายถึงดิน

ค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรอาจแบ่งออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

a) Network feeder

b) Two-winding transformers

c) Overhead Lines and Cables

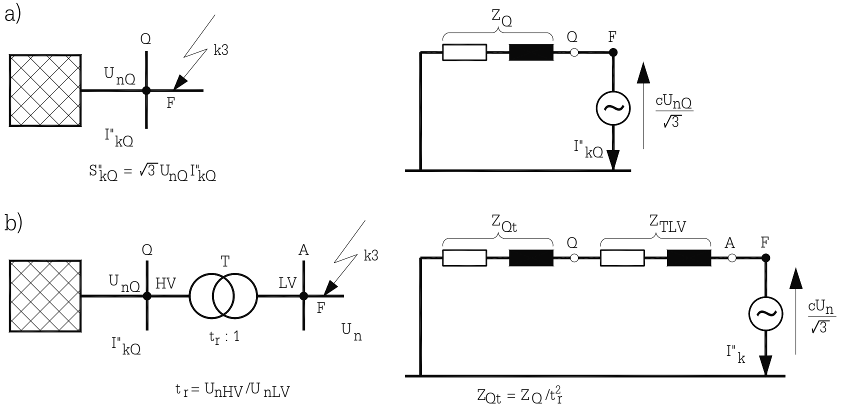
ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการหา Positive Sequence Impedance เท่านั้น เพื่อใช้ในการคำนวณกระแสลัดวงจร แบบสามเฟสสมดุล

รายละเอียดในแต่ละหัวข้อมีดังนี้

11.4.1 ค่าอิมพีแดนซ์ของ Network feeder

ขนาดของระบบไฟฟ้าอาจแทนได้ด้วยค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น (Initial Symmetrical Short-circuit Power) S''_{kQ} ถ้าระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่มาก จนถือว่าเป็นบัสอนันต์ (Infinite Bus) จะได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรของระบบไฟฟ้ามีค่าน้อยมาก จนถือได้ว่ามีค่าเป็นศูนย์

รูปที่ 11.4 จะแสดงรูปของระบบและวงจรสมมูล สำหรับระบบไฟฟ้าทั้งกรณีที่มีหม้อแปลง และกรณีที่ไม่มีหม้อแปลง



รูปที่ 11.4 ระบบและวงจรสมมูล สำหรับระบบไฟฟ้า

พิจารณาการลัดวงจรในรูปที่ 11.4 (a) ถ้าทราบกำลังไฟฟ้าลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น S''_{kQ} หรือ กระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น I''_{kQ} ที่จุด Q ค่าอิมพีแดนซ์สมมูล ZQ ของระบบที่จุด Q สามารถหาได้จาก

$$Z_Q = \frac{cU_{nQ}^2}{S''_{kQ}} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I''_{kQ}}$$

ส่วนกรณีการลัดวงจรในรูปที่ 11.4 (b) ซึ่งจ่ายไฟมาจากระบบแรงดันปานกลางหรือแรงดันสูงผ่านหม้อแปลง ถ้าทราบกำลังไฟฟ้าลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น S''_{kQ} หรือกระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น I''_{kQ} ที่จุด Q ค่าอิมพีแดนซ์สมมูล Z_{Qt} ซึ่งแปลงให้อยู่ทางด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลง สามารถหาได้จาก

$$Z_{Qt} = \frac{cU_{nQ}^2}{S''_{kQ}} \times \frac{1}{t_r^2} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I''_{kQ}} \times \frac{1}{t_r^2}$$

โดยที่ :

U_{nQ} = แรงดันของระบบที่จุด Q

S''_{kQ} = กำลังลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น ที่จุด Q

I''_{kQ} = กระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น ที่จุด Q

c = ตัวประกอบแรงดัน

t_r = อัตราส่วนการแปลงพิกัด (Rated Transformation Ratio) โดยที่ Tap-changer อยู่ในตำแหน่งหลัก

ในกรณีระบบมีแรงดันสูงกว่า 35 kV จ่ายด้วยสายส่งเหนือศีรษะ ค่าอิมพีแดนซ์สมมูล Z_Q อาจพิจารณาเพียงค่ารีแอกแตนซ์เพียงอย่างเดียว เป็น $Z_Q = j X_Q$

ส่วนในกรณีอื่นๆ ถ้าไม่ทราบค่าความต้านทาน R_Q ของระบบไฟฟ้าที่แน่นอน

$$R_Q = 0.1 X_Q$$

และ $$X_Q = 0.995 Z_Q$$

ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น S''_{kQ} และกระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น I''_{kQ} นั้น สามารถหาได้จากทางการไฟฟ้า สำหรับที่ระดับแรงดัน 22 kV และ 24 kV นั้น โดยทั่วไปจะกำหนดให้ $S''_{kQ} = 500$ MVA

ตัวอย่างที่ 11.1

ระบบไฟฟ้ามีค่า $R_Q = 0.1 X_Q$ ให้หาค่า X_Q ในเทอมของ Z_Q

วิธีทำ

$$\therefore \quad R_Q = \sqrt{R_Q^2 + X_Q^2}$$

$$= \sqrt{(0.1 X_Q)^2 + X_Q^2}$$

$$X_Q = \frac{Z_Q}{\sqrt{1 + 0.1^2}}$$

$$= 0.995 Z_Q$$

ตัวอย่างที่ 11.2

ระบบไฟฟ้ามี S''_{kQ} = 500 MVA ที่ 22 kV, $R_Q = 0.1\ X_Q$ ถ้ามีหม้อแปลง 22 kV/230-400 V ต่ออยู่ ให้หาค่า R_{Qt} และ X_{Qt} ของระบบไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง

วิธีทำ

$$Z_{Qt} = \frac{c\ U_{nQ}^2}{S''_{kQ}} \times \frac{1}{t_r^2}$$

$$= \frac{1.1 \quad 22^2}{500} \times \frac{1}{\left(\frac{22000}{400}\right)^2}$$

$$= 3.52 \times 10^{-4}\ \Omega$$

$$= 0.352\ m\Omega$$

$$X_{Qt} = 0.995\ Z_Q$$

$$= 0.995 \times 0.352$$

$$= 0.350\ m\Omega$$

$$R_{Qt} = 0.1\ X_{Qt}$$

$$= 0.035\ m\Omega$$

ระบบ 230/400 V $Z_{Qt} = 0.352\ m\Omega$, $X_{Qt} = 0.350\ m\Omega$,
$R_{Qt} = 0.035\ m\Omega$

11.4.2 Two-winding transformers

ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด $Z_T = R_T + j X_T$ สามารถคำนวณได้จากข้อมูลค่าพิกัดของหม้อแปลงดังนี้

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} \times \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}}$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100\%} \times \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

โดยที่ :

U_{rT} = แรงดันพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงดันสูงหรือด้านแรงต่ำ
I_{rT} = กระแสพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงดันสูงหรือด้านแรงต่ำ
S_{rT} = กำลังปรากฏพิกัดของหม้อแปลง
P_{krT} = กำลังสูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงในขดลวดที่กระแสพิกัด
u_{kr} = แรงดันลัดวงจรพิกัด เป็นเปอร์เซ็นต์
u_{Rr} = แรงดัน

อัตราส่วน X/R เพิ่มขึ้นตามขนาดของหม้อแปลง สำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่ความต้านทานจะมีค่าต่ำมาก ดังนั้นในการคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจรอาจให้ค่าอิมพีแดนซ์ ประกอบด้วยรีแอกแตนซ์เพียงอย่างเดียวแต่ค่าความต้านทานจะต้องนำมาคิดเมื่อต้องการคำนวณกระแสยอด (Peak Short Circuit)

ตัวอย่างที่ 11.3

หม้อแปลงขนาด 2000 kVA, 22 kV/230-400V, % Uk = 6, Load Loss = 24 kW ให้หา R_T และ X_T อ้างอิงไปทางด้านแรงต่ำ

วิธีทำ

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100} \times \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}}$$

$$= \frac{6}{100} \times \frac{0.4^2}{2}$$

$$= 4.8 \times 10^{-3}\ \Omega$$

$$= 4.8\ \text{m}\Omega$$

$$R_T = \frac{P_{krT}}{3\ I_{rT}^2} = P_{krT} \times \frac{U_{rT}^{\ 2}}{S_{rT}^{\ 2}}$$

$$= 24 \times \frac{0.4^2}{2^2}$$

$$= 0.96\ \text{m}\Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^{\ 2} - R_T^{\ 2}}$$

$$= \sqrt{4.8^2 - .96^2}$$

$$= 4.7\ \text{m}\Omega$$

ตารางที่ 11.2 หม้อแปลงไฟฟ้า ต้านแรงต่ำ 230/400 V

พิกัด (kVA)	I_{FL} (A)	$\%U_k$	P_L (kW)	Z_T (mΩ)	R_T (mΩ)	X_T (mΩ)
315	455	4	3.9	20.32	6.29	19.32
400	577	4	4.6	16.0	4.60	15.32
500	722	4	5.5	12.8	3.52	12.31
630	909	4	6.5	10.16	2.62	9.82
800	1155	6	11.0	12.00	2.75	11.68
1000	1443	6	13.5	9.60	2.16	9.35
1250	1804	6	16.4	7.68	1.68	7.49
1600	2309	6	19.8	6.00	1.24	5.87
2000	2887	6	24.0	4.80	0.96	4.70
2500	3608	6	26.8	3.84	0.69	3.78

11.4.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเหนือศีรษะและเคเบิล (Overhead Lines and Cables Impedance)

ค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจร $Z_L = R_L + j X_L$ สามารถหาได้โดยการคำนวณจากข้อมูลต่างๆ ของตัวนำ ได้แก่ พื้นที่หน้าตัด และระยะศูนย์กลางของตัวนำ

ค่าความต้านทานประสิทธิผลต่อหน่วยความยาว R'_L ของสายเหนือศีรษะที่อุณหภูมิ 20 °C สามารถคำนวณได้จากค่าพื้นที่หน้าตัด q_n และค่าความต้านทานจำเพาะ ρ ดังนี้

$$R'_L = \frac{\rho}{q_n}$$

โดยที่ :

$$\rho = \frac{1}{54}\frac{\Omega mm^2}{m} \quad \text{For Copper}$$

$$\rho = \frac{1}{34}\frac{\Omega mm^2}{m} \quad \text{For Aluminium}$$

$$\rho = \frac{1}{31}\frac{\Omega mm^2}{m} \quad \text{For Aluminium Alloy}$$

ส่วนค่ารีแอกแตนซ์ต่อหน่วยความยาว X'_L สำหรับสายเหนือศีรษะสามารถคำนวณได้จาก

$$X'_L = 2\pi f \frac{\mu_0}{2\pi}\left(\frac{0.25}{n} + \ln\frac{d}{r}\right)$$

$$= f \mu_0\left(\frac{0.25}{n} + \ln\frac{d}{r}\right)$$

โดยที่ :

d = ระยะเฉลี่ยเรขาคณิตระหว่างตัวนำ

r = รัศมีของตัวนำเดี่ยว ในกรณีของตัวนำบันเดิล จะแทน r ด้วย

$$\sqrt[n]{nrR^{n-1}}$$

โดยที่ R คือ รัศมีบันเดิล

n = จำนวนตัวนำบันเดิล

แทนค่า $\mu_0 = 4\pi 10^{-4}$ H/km เป็นค่าความซาบซึมได้ (Permeability) ของสูญญากาศ ดังนั้นสามารถเขียนสมการได้ง่ายขึ้นเป็น

$$X_L' = 0.0628\left(\frac{0.25}{n} + \ln\frac{d}{r}\right) \ \Omega/\text{km} \quad \text{for } f = 50\,\text{Hz}$$

เพื่อความสะดวกในการคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจรจึงได้ให้ข้อมูลค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ขั้นต่ำ ของสายไฟฟ้าชนิดแรงต่ำหุ้มด้วยฉนวน PVC ดังแสดงในตารางที่ 11.3

ตารางที่ 11.3 สายไฟฟ้าแรงต่ำหุ้มด้วยฉนวน PVC

ขนาดสาย (mm^2)	ค่าความต้านทาน (mΩ/m)	ค่ารีแอกแตนซ์ (mΩ/m)
2.5	7.400	0.155
4	4.625	0.141
6	3.083	0.131
10	1.850	0.121
16	1.156	0.113
25	0.740	0.107
35	0.529	0.103
50	0.370	0.100
70	0.264	0.097
95	0.195	0.096
120	0.154	0.094
150	0.123	0.092
185	0.100	0.091
240	0.077	0.090
300	0.062	0.089
400	0.051	0.088
500	0.041	0.087

11.5 การคำนวณกระแสลัดวงจร

การลัดวงจรในระบบไฟฟ้าที่ต่อลงดิน การลัดวงจรแบบสายถึงดินเกิดบ่อยที่สุด และการลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล โดยทั่วไปจะให้กระแสลัดวงจรสูงสุด

การลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล การคำนวณจะใช้ Positive Sequence Impedance เพียงอย่างเดียว ทำให้ง่ายในการคำนวณ การคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบแรงดันต่ำ โดยทั่วไปเป็นการเพียงพอที่จะคำนวณการลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล

การลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล (Balanced Three-phase Short Circuit)

กระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น I''_k

จากรูปที่ 11.3 กระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น I''_k สามารถหาได้จาก

$$I''_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\, Z_k}$$

โดยที่ :

$\frac{cUn}{\sqrt{3}}$ = แหล่งจ่ายไฟสมมูล

R_k = ผลรวมของความต้านทานที่ต่ออนุกรม

X_k = ผลรวมของรีแอกแตนซ์ที่ต่ออนุกรม

Z_k = อิมพีแดนซ์ลัดวงจร

ในกรณีของการลัดวงจรไกลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะได้ว่า

$$I_k = I_b = I''_k$$

กระแสลัดวงจรค่ายอด i_p

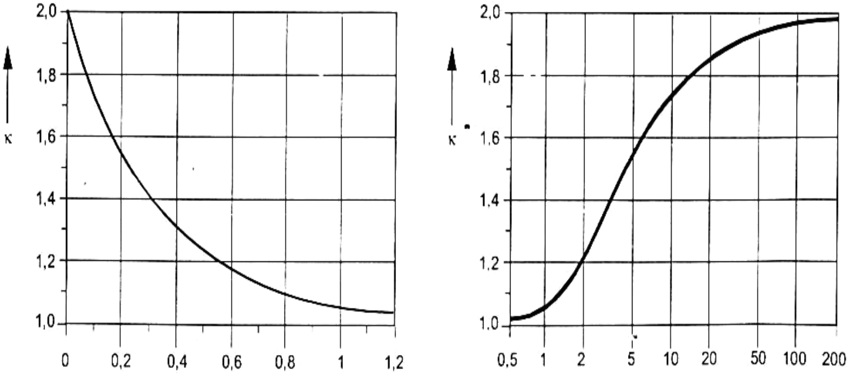
เนื่องจากกระแสลัดวงจรมาจากวงจรที่ต่ออนุกรม ดังนั้นกระแสลัดวงจรค่ายอดจึงหาได้จาก

$$i_p = \kappa\sqrt{2}\, I_k''$$

โดยที่ค่า κ จะขึ้นอยู่กับค่า R/X หรือ X/R อาจคำนวณค่า κ ได้โดยประมาณจาก

$$\kappa \approx 1.02 + 0.98e^{-3R/X}$$

นอกจากนี้ยังสามารถหาค่า κ ได้จากรูปที่ 11.5



รูปที่ 11.5 ตัวคูณค่ายอด

11.6 ตัวอย่างการคำนวณกระแสลัดวงจร

ตัวอย่างที่ 11.4

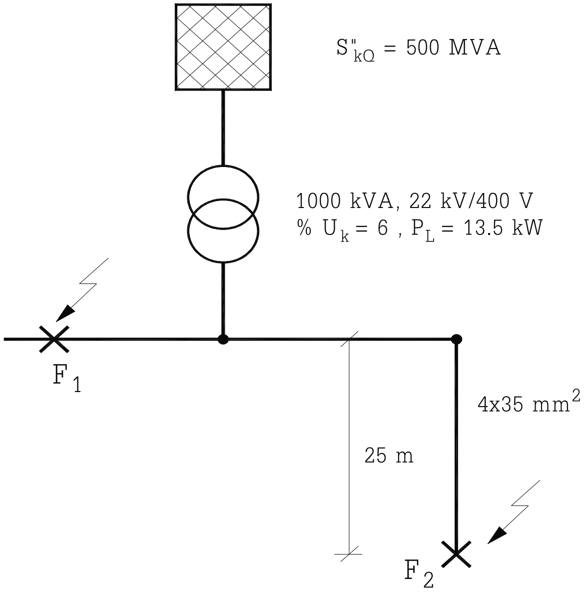
ระบบไฟฟ้ามีดังรูป และมีข้อมูลดังนี้

- ระบบไฟฟ้า S''_{kQ} = 500 MVA U_{nQ} = 22 kV
- หม้อแปลงไฟฟ้า 22 kV/400 V, S_{rT} = 1000 kVA, u_{kr} = 6 %, P_{krT} = 13.5 kW
- สายไฟฟ้า PVC 4 x 35 mm^2 ยาว 25 m

R_L = 0.529 mΩ/m X_L = 0.103 mΩ/m

จงหากระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง F1 และ F2

ให้ c = 1.00



วิธีทำ

ที่ตำแหน่ง F_1

หา Z_1

ระบบไฟฟ้า $S''_{kQ} = 500$ MVA ที่ 22 kV,

$R_Q = 0.1\,X_Q$

$$Z_{Qt} = \frac{cU_{nQ}^2}{S''_{kQ}} \times \frac{1}{t_r^2}$$

$$= \frac{(1.1 \times 22^2)}{500} \times \left(\frac{0.4}{22}\right)^2$$

$$= 0.352\ \text{m}\Omega$$

$$X_{Qt} = 0.995 Z_{Qt} = 0.350\ \text{m}\Omega$$

$$R_{Qt} = 0.1 X_{Qt} = 0.035\ \text{m}\Omega$$

หม้อแปลง 1000 kVA, 22 kV / 400 V, % U = 6, P = 13.5 kW

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} \times \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}}$$

$$= \frac{6}{100} \times \frac{0.4^2}{1}$$

$$= 9.60\ \text{m}\Omega$$

$$R_T = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2} = \frac{P_{krT} \times U_{rT}^2}{S_{rT}^2}$$

$$= \frac{13.5 \times 0.4^2}{1^2}$$

$$= 2.16 \text{ m}\Omega$$

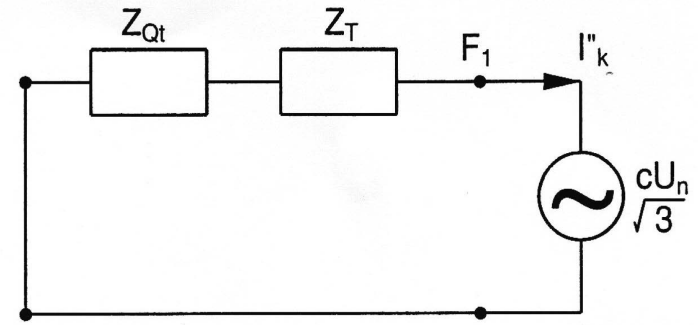
$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

$$= \sqrt{9.6^2 - 2.16^2}$$

$$= 9.35 \text{ m}\Omega$$

การลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล

ลัดวงจรที่ตำแหน่ง F_1



$$Z_T = 2.16 + j\,9.35 \text{ m}\Omega$$

$$Z_k = Z_{Qt} + Z_T$$

$$= (0.035 + j\,0.35) + (2.16 + j\,9.35)$$

$$= 2.195 + j\,9.70 \text{ m}\Omega$$

$$|Z_k| = 9.95 \text{ m}\Omega$$

ค่า R/X = 0.23 จะได้ว่า κ = 1.52

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\,Z_k}$$

$$= \frac{1.00 \times 400}{\sqrt{3} \times 9.95}$$

$$= 23.2 \text{ kA}$$

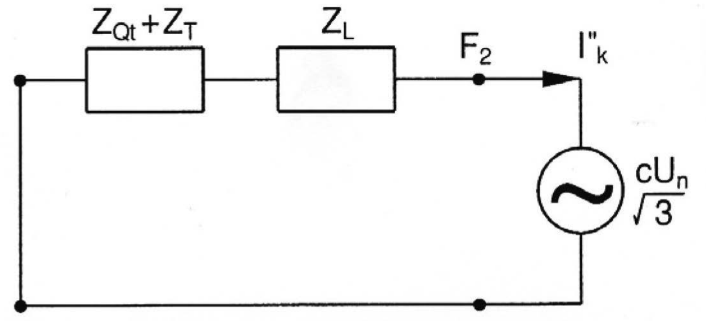
$$i_p = \kappa\sqrt{2}\,I_k''$$

$$= 1.52 \times \sqrt{2} \times 23.2$$

$$= 49.9 \text{ kA}$$

ลัดวงจรที่ตำแหน่ง F2

การลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล



Z_L	=	25 x (0.529 + j 0.103)
	=	13.23 + j 2.58 mΩ
Z_k	=	(Z_Q + Z_T) + Z_L
	=	(2.20 + j 9.7) + (13.23 + j 2.58)
	=	15.43 + j 12.28 mΩ
$\lvert Z_k \rvert$	=	19.72 mΩ ค่า R/X = 1.26

จะได้ว่า κ = 1.04

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\ Z_k}$$

$$= \frac{1.0 \times 400}{\sqrt{3} \times 19.72}$$

$$= 11.7\ \text{kA}$$

$$i_p = \kappa\sqrt{2}\ I_k''$$

$$= 1.04 \times \sqrt{2} \times 11.7$$

$$= 17.2\ \text{kA}$$

ตัวอย่างที่ 11.5

จากตัวอย่างที่ 11.4 ถ้าระบบไฟฟ้าเป็นแบบ Infinite Bus จงหาค่ากระแสลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุลที่ตำแหน่ง F1

วิธีทำ

ตำแหน่ง F1

$\therefore$ ระบบไฟฟ้าเป็นแบบ Infinite Bus

$$\therefore \quad Z_{Qt} = 0$$

$$Z_T = 2.16 + j\,9.35\ \text{m}\Omega$$

$$I''_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\,Z_T}$$

$$= \frac{1.00 \times 400}{\sqrt{3} \times \sqrt{2.16^2 + 9.35^2}}$$

$$= 24.1\ \text{kA}$$

หมายเหตุ

ถ้าระบบไฟฟ้าเป็นแบบ Inifinite Bus กระแสลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุลที่ขั้วแรงต่ำ ของหม้อแปลง สามารถหาได้จากสูตร

$$I''_k = \frac{100}{\% U_k} I_n$$

โดยที่

U_k = % อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

I_n = กระแสพิกัดของหม้อแปลง (A)

∴ จากตัวอย่าง

$$I''_k = \frac{100}{\%U_k} \times \frac{1000}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= \frac{100}{6} \times 1.443$$

$$= 24.1 \text{ kA}$$

11.7 การคำนวณกระแสลัดวงจรด้วยคอมพิวเตอร์

เนื่องจากการคำนวณกระแสลัดวงจรตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นการคำนวณจะเกี่ยวข้องกับตัวเลขมาก หากต้องคำนวณกระแสลัดวงจรหลายๆ จุด ก็จะเป็นงานที่ใช้เวลามาก และอาจจะเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในงานด้านต่างๆ โดยเฉพาะงานด้านวิศวกรรม เนื่องจากการคำนวณกระแสลัดวงจรตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น มีหลักการคำนวณที่แน่นอนเป็นระบบ เหมาะแก่การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อช่วยในการคำนวณ ปัจจุบันมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์หลายโปรแกรมที่ใช้คำนวณกระแสลัดวงจร โปรแกรมเหล่านี้จะช่วยอำนวยความสะดวกเป็นอย่างมากในการคำนวณกระแสลัดวงจร การใช้งานง่าย โดยเฉพาะในการคำนวณกระแสลัดวงจรหลายๆ จุดก็จะทำให้ประหยัดเวลาและมีความถูกต้อง

11.8 ตารางค่ากระแสลัดวงจร

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า การคำนวณกระแสลัดวงจรด้วยคอมพิวเตอร์จะช่วยทำให้การคำนวณทำได้ง่าย แต่ในบางโอกาสอาจจะไม่สะดวกที่จะต้องใช้คอมพิวเตอร์ทุกครั้งในการคำนวณ ผู้เขียนจึงได้จัดทำตารางแสดงค่ากระแสลัดวงจรขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ทำให้ผู้ออกแบบสามารถนำค่ากระแสลัดวงจรนี้ไปใช้ในการออกแบบได้ทันที สำหรับค่ากระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ไม่มีในตาราง สามารถหาได้จากวิธี Interpolation

ค่ากระแสลัดวงจรที่แสดงในตารางภาคผนวกนั้น ได้มาจากการคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ และใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ระบบไฟฟ้ามีค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น S''_{KQ} = 500 MVA

2. หม้อแปลง มีค่าแรงดันอิมพีแดนซ์และค่ากำลังสูญโหลดตามตารางที่ 11.2

3. สายไฟฟ้าแรงดันต่ำหุ้มฉนวน PVC มีค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ ตามตารางที่ 11.3

4. แรงดันทางด้านแรงต่ำมีค่า 230/400V

5. ตัวประกอบแรงดัน (Voltage Factor) สำหรับแรงดันต่ำให้มีค่าเท่ากับ 1.00

6. ไม่คิดผลจากมอเตอร์

บทที่ 12

ข้อกำหนดทั่วไป สำหรับการติดตั้งทางไฟฟ้า และการเดินสาย

12.1 บทนำ

ระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า นอกจากจะต้องออกแบบ และเลือกอุปกรณ์ตามหลักวิศวกรรมแล้ว การติดตั้งที่ถูกต้องมีส่วนทำให้ระบบ และอุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ความปลอดภัยสูง การติดตั้งที่ถูกต้องจะต้องทำตามกฎข้อบังคับต่างๆ และต้องยึดหลักวิศวกรรมที่ดีด้วย ซึ่งรายละเอียดที่สำคัญจะได้สรุปในหัวข้อต่อไป

12.2 ข้อกำหนดทั่วไปในการติดตั้งทางไฟฟ้า

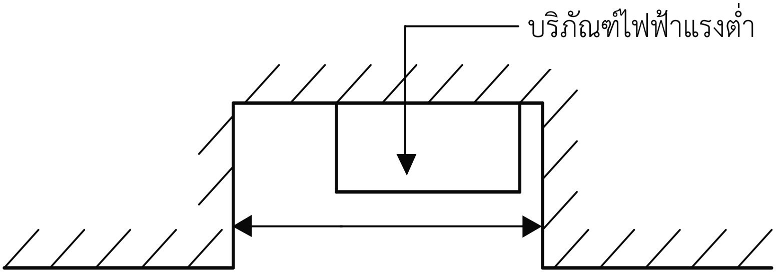
1) ข้อกำหนดการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าเบื้องต้นมี 2 ประเภทคือ

- การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ
- การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง

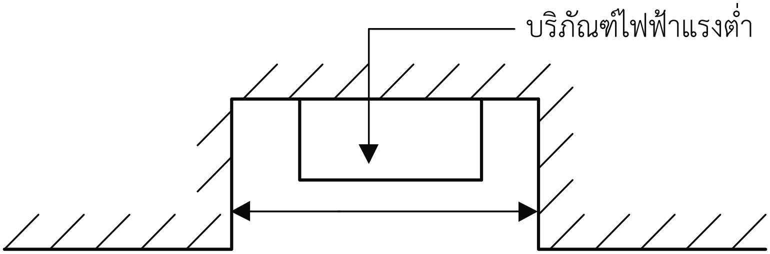
12.2.1 ข้อกำหนดการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

1) ข้อกำหนดสำหรับขนาดที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานระบบแรงต่ำ

- ต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.75 m และไม่น้อยกว่าขนาดความกว้างของบริภัณฑ์
- ความลึกต้องเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 12.1
- ต้องมีที่ว่างพอเพียงสำหรับการเปิดประตูตู้หรือฝาตู้ได้อย่างน้อย 90°
- คอนกรีต อิฐ ผนังกระเบื้อง ให้ถือว่าเป็นส่วนที่ต่อลงดิน

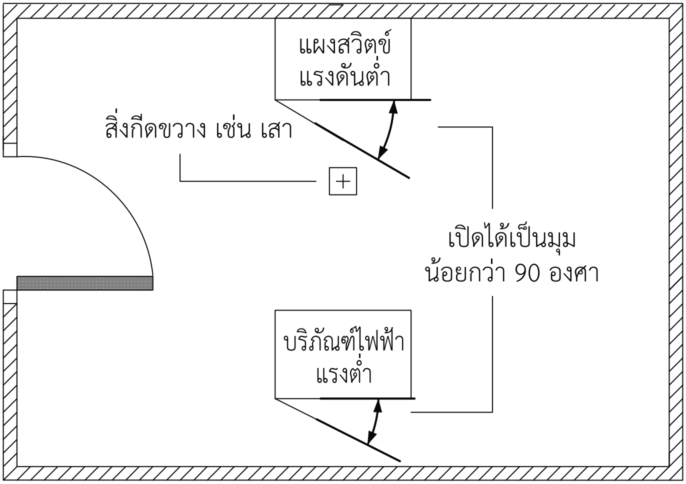


ความกว้างไม่น้อยกว่า 0.75 m (ไม่อยู่กึ่งกลาง)



ความกว้างไม่น้อยกว่า 0.75 m (อยู่กึ่งกลาง)

รูปที่ 12.1 ความกว้างของที่ว่างเพื่อการปฏิบัติงาน



รูปที่ 12.2 ที่ว่างไม่เพียงพอให้ฝาเปิดได้ 90°

ตารางที่ 12.1 (ตารางที่ 1 - 1)

ความลึก (Depth) ต่ำสุดของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานกับบริภัณฑ์ไฟฟ้าระบบแรงต่ำ

แรงดันไฟฟ้า วัดเทียบกับดิน (V)	**ความลึกต่ำสุด (m)**		
	กรณีที่ 1	**กรณีที่ 2**	**กรณีที่ 3**
0 - 150	0.90	0.90	0.90
151 - 600	0.90	1.10	1.20

กรณีที่ 1 มีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทางด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน และอีกด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานไม่มีทั้งส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งและส่วนที่ต่อลงดิน

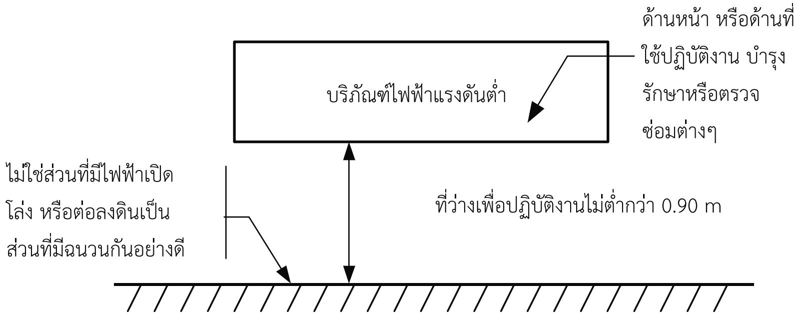
หรือมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทั้งสองด้านของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน แต่ได้มีการกั้นด้วยวัสดุที่เหมาะสม เช่น ไม้ หรือวัสดุฉนวนอื่น

สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนหรือบัสบาร์หุ้มฉนวนที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 300 โวลต์ ให้ถือว่าเป็นส่วนที่ไม่มีไฟฟ้า

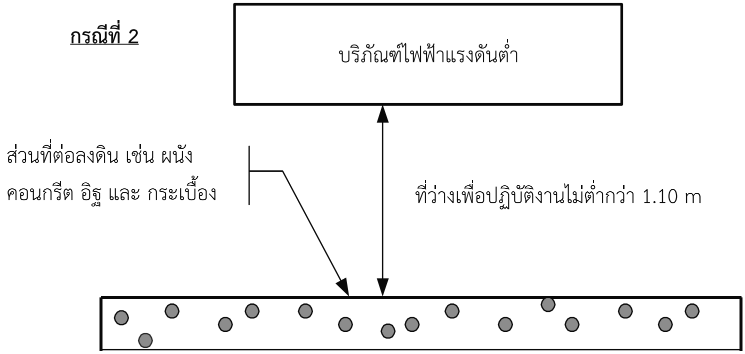
กรณีที่ 2 มีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทางด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน และอีกด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานเป็นส่วนที่ต่อลงดิน

กรณีที่ 3 มีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทั้งสองด้านของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน (ไม่มีการกั้นตามกรณีที่ 1) โดยผู้ปฏิบัติงานจะอยู่ระหว่างนั้น

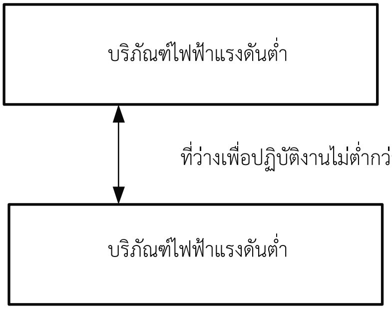
กรณีที่ 1



กรณีที่ 2



กรณีที่ 3



รูปที่ 12.3 ความลึกของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานในระบบแรงดันต่ำ

กรณีที่ 1	ระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้ากับส่วนที่เป็นฉนวนกั้นอย่างดี เช่น ไม้ ไม่ใช่ส่วนที่มีไฟฟ้า, เปิดโล่ง หรือ ต่อลงดิน	0.90 m
กรณีที่ 2	ระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้ากับส่วนที่ต่อลงดิน โดยคอนกรีต, อิฐ, ผนัง และกระเบื้อง ถือว่าเป็นส่วนที่ต่อลงดิน	1.10 m
กรณีที่ 3	ระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้า	1.20 m

2) ที่ว่างเหนือพื้นที่เพื่อปฏิบัติงานระบบแรงต่ำ (Headroom)

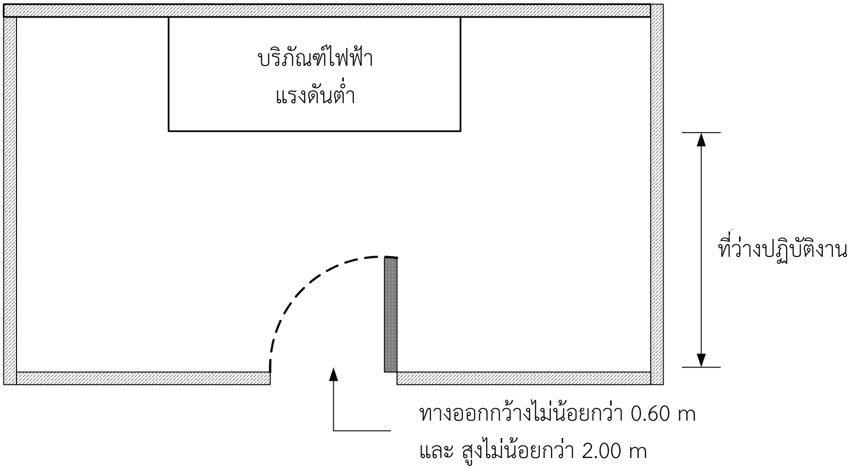
- มีความสูงไม่น้อยกว่า 2.00 m
- ส่วนบนของแผงสวิตช์ห่างจากเพดานเป็นวัสดุไม่ติดไฟ ต้องมีที่ว่างไม่น้อยกว่า 0.6 m
- ส่วนบนของแผงสวิตช์ห่างจากเพดานเป็นวัสดุติดไฟ ต้องมีที่ว่างไม่น้อยกว่า 0.9 m

3) ทางเข้าที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานระบบแรงต่ำ

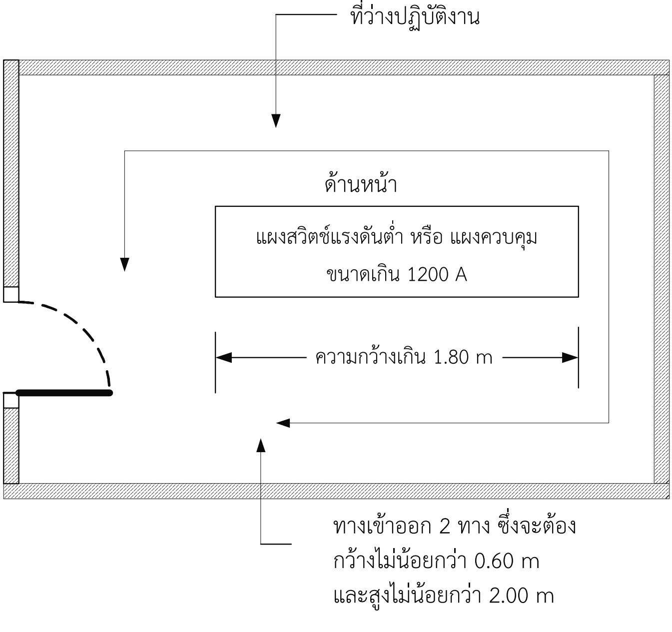
- ต้องมีทางเข้าขนาดเพียงพอเพื่อปฏิบัติงาน กับ บริภัณฑ์ไฟฟ้าได้
- มีทางเข้าอย่างน้อย 1 ทาง
- สำหรับแผงสวิตช์และแผงควบคุมที่มีพิกัดกระแสตั้งแต่ 1,200 A ขึ้นไป และกว้างเกิน 1.80 m ต้องมีทางเข้าทั้งสองข้างของแผงที่มีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.60 m และความสูงไม่น้อยกว่า 2.00 m

4) แสงสว่าง

- ต้องมีแสงสว่างบริเวณที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานอย่างเพียงพอ โดยทั่วไปประมาณ 300 lux



รูปที่ 12.4 ทางเข้าออกเพื่อปฏิบัติงาน



รูปที่ 12.5 เพื่อความปลอดภัยให้มีทางเข้าออกสองทาง

12.2.2 ข้อกำหนดการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง

1) ข้อกำหนดสำหรับขนาดที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานระบบแรงสูง

- ติดตั้งในห้องมีความสูงไม่น้อยกว่า 2.00 m
- มีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.90 m
- ความลึกต้องเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 12.2
- ที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานต้องพอเพียงสำหรับการเปิดประตูตู้ได้อย่างน้อย 90°
- คอนกรีต อิฐ ผนังกระเบื้อง ให้ถือว่าเป็นส่วนที่ต่อลงดิน

ตารางที่ 12.2 (ตารางที่ 1 - 2)

ความลึก (Depth) ต่ำสุดของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานกับบริภัณฑ์ไฟฟ้า ระบบแรงสูง

แรงดันไฟฟ้า วัดเทียบกับดิน (V)	ความลึกต่ำสุด (m)		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
601 - 2,500	0.90	1.20	1.50
2,501 - 9,000	1.20	1.50	1.80
9,001 - 25,000	1.50	1.80	2.70
25,001 - 75,000	1.80	2.50	3.00

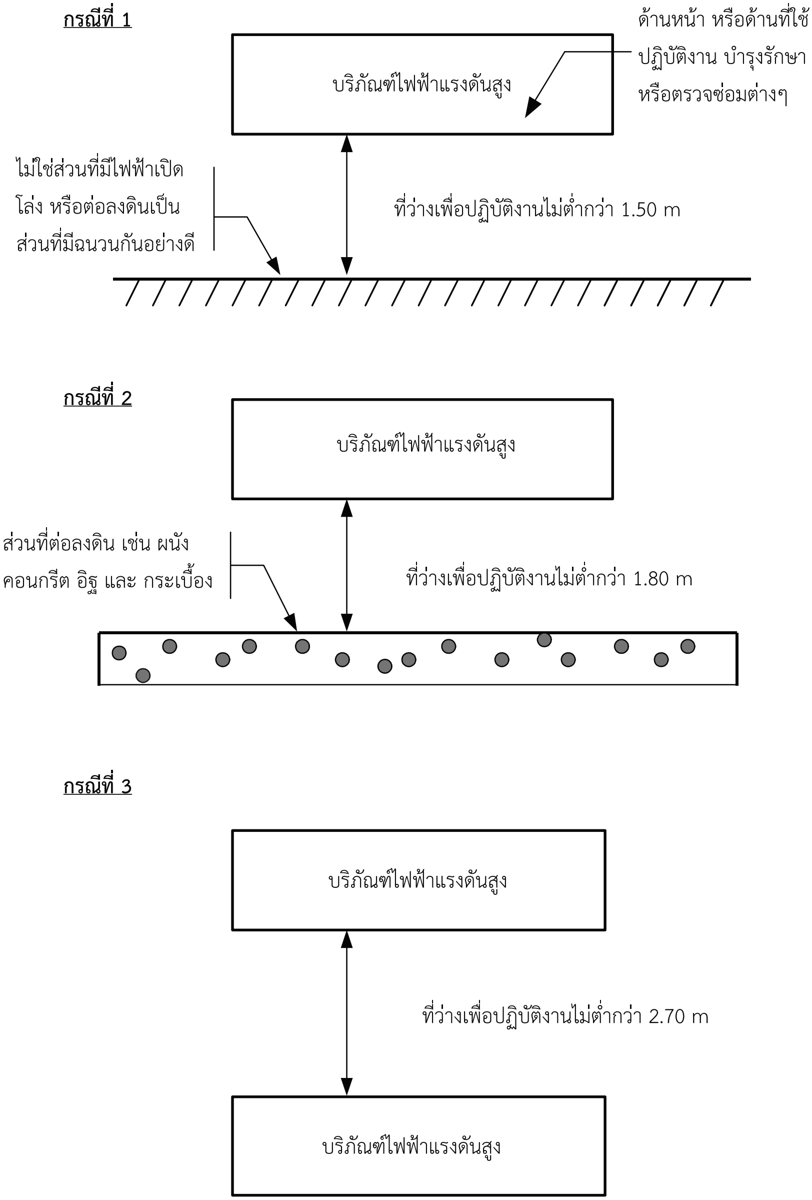
กรณีที่ 1 มีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทางด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน และอีกด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานไม่มีทั้งส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งและส่วนที่ต่อลงดิน

หรือมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทั้งสองด้านของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน แต่ได้มีการกั้นด้วยวัสดุที่เหมาะสม เช่น ไม้ หรือวัสดุฉนวนอื่น

สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนหรือบัสบาร์หุ้มฉนวนที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 300 โวลต์ ให้ถือว่าเป็นส่วนที่ไม่มีไฟฟ้า

กรณีที่ 2 มีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทางด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน และอีกด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานเป็นส่วนที่ต่อลงดิน

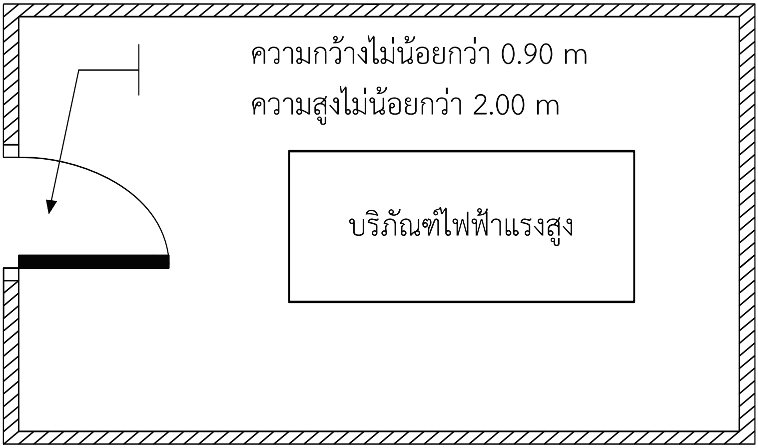
กรณีที่ 3 มีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทั้งสองด้านของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน (ไม่มีการกั้นตามกรณีที่ 1) โดยผู้ปฏิบัติงานจะอยู่ระหว่างนั้น



รูปที่ 12.6 ความลึกของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานในระบบแรงดันสูง

2) ทางเข้าที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานระบบแรงสูง

- ทางเข้าถึงที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ต้องมีอย่างน้อย 1 ทาง
- ความกว้างไม่น้อยกว่า 0.90 m
- ความสูงไม่น้อยกว่า 2.00 m



รูปที่ 12.7 ทางเข้าออกเพื่อปฏิบัติงานไฟฟ้าแรงดันสูง

ตัวอย่างที่ 12.1

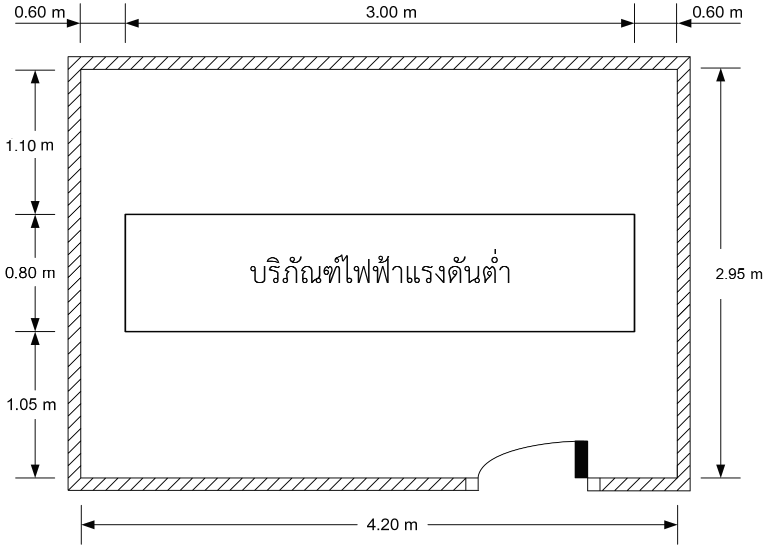
จงหาขนาดห้องสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่อไปนี้

- ตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำ 230/400 V 3 เฟส 4 สาย
  ขนาด L×W×H = 3.0 × 0.8 × 2.2 m

โดยที่ด้านหน้า และด้านหลังเป็นด้านที่ต้องเข้าไปปฏิบัติงาน ผนังเป็นอิฐ เพดานเป็นวัสดุติดไฟได้

วิธีทำ

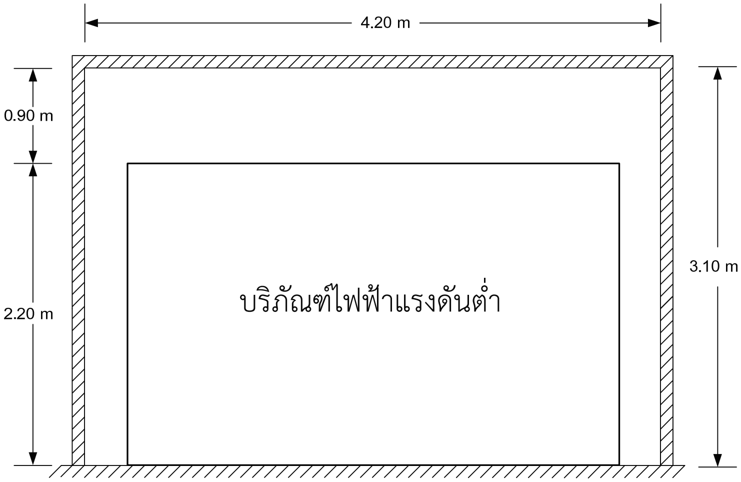
บริเวณด้านหน้า และด้านหลังเป็นบริเวณที่ต้องปฏิบัติงาน



ด้านบน

ความกว้างต่ำสุด = 1.10 + 0.80 + 1.05 = 2.95 m

ความยาวต่ำสุด = 0.60 + 3.00 + 0.60 = 4.20 m



ด้านหน้า

เพดานเป็นวัสดุติดไฟได้ ให้ใช้ระยะห่างส่วนบนบริภัณฑ์กับเพดานเป็น 0.90 m

ความสูงต่ำสุด = 2.20 + 0.90 = 3.10 m

ตัวอย่างที่ 12.2

จงหาขนาดห้องสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่อไปนี้

- ตู้ไฟฟ้าแรงดันสูง 24 kV
  ขนาด L x W x H = 1.50 x 1.50 x 2.20 m
- หม้อแปลง DRY TYPE 24 kV (HV) มีเครื่องห่อหุ้ม
  ขนาด L x W x H = 2.50 x 2.00 x 2.50 m
- ตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำ 230 / 400 V
  ขนาด L x W x H = 3.00 x 1.00 x 2.00 m

โดยที่ ด้านหน้า เป็นด้านที่ต้องไปปฏิบัติงาน ส่วนด้านหลังเป็นด้านที่ไม่ต้องเข้าไปปฏิบัติงาน เพดานไม่ติดไฟ

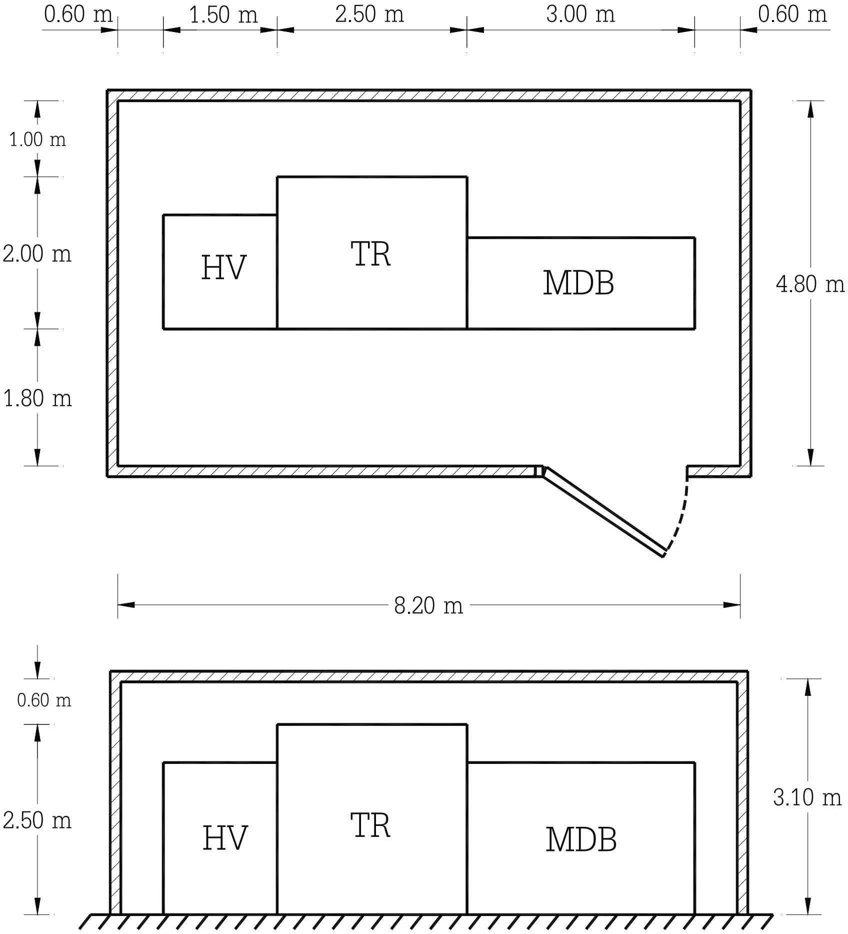
วิธีทำ

- บริเวณด้านหน้าเป็นบริเวณที่ต้องการที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน
- ส่วนด้านหลังเป็นด้านที่ไม่ต้องเข้าไปปฏิบัติงาน จึงไม่จำเป็นต้องมีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน แต่ก็อาจมีที่สำหรับเป็นทางเดิน ซึ่งจัดว่าเป็นทางเข้าออกของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานได้
- เพดานไม่ติดไฟ

ความกว้างต่ำสุด = 1.00 + 2.00 + 1.80 = 4.80 m

ความยาวต่ำสุด = 0.60 + 1.50 + 2.50 + 3.00 + 0.60
= 8.20 m

ความสูงต่ำสุด = 2.50 + 0.60
= 3.10 m



0.60 m
1.50 m
2.50 m
3.00 m
0.60 m
1.00 m
2.00 m
1.80 m
HV
TR
MDB
4.80 m
8.20 m
0.60 m
2.50 m
HV
TR
MDB
3.10 m

12.3 ข้อกำหนดทั่วไปของการเดินสายของระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ

12.3.1 การเดินสายไฟของระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันต่างกัน

- ไฟฟ้าแรงต่ำทั้งระบบ กระแสสลับ (AC) และ กระแสตรง (DC) อนุญาตให้ติดตั้งสายไฟอยู่ภายในช่องร้อยสายหรือเครื่องห่อหุ้มเดียวกันได้ ถ้าฉนวนนั้นมีความเหมาะสม
- เช่น ถ้าสาย AC ระดับแรงดัน 750 V สาย DC แม้จะใช้งาน 24 V แต่ฉนวนต้องทน 750 V ได้
- สายไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ (LV) และ แรงดันสูง (HV) ไม่อนุญาตให้ติดตั้งในช่องสายเดียวกัน ถ้าติดตั้งต้องมีสิ่งปิดกั้นแยก (Barrier)
    - แรงดันต่ำ ต่ำกว่า 1,000 V
    - แรงดันสูง สูงกว่า 1,000 V

12.3.2 การติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินของระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ

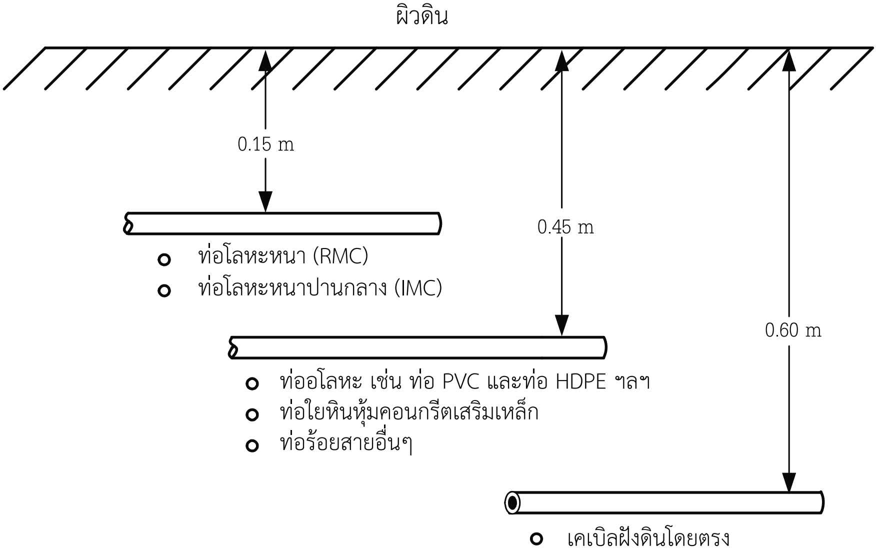
1) ความลึกในการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน

ความลึกในการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินต้องเป็นไปตามตารางที่ 12.3

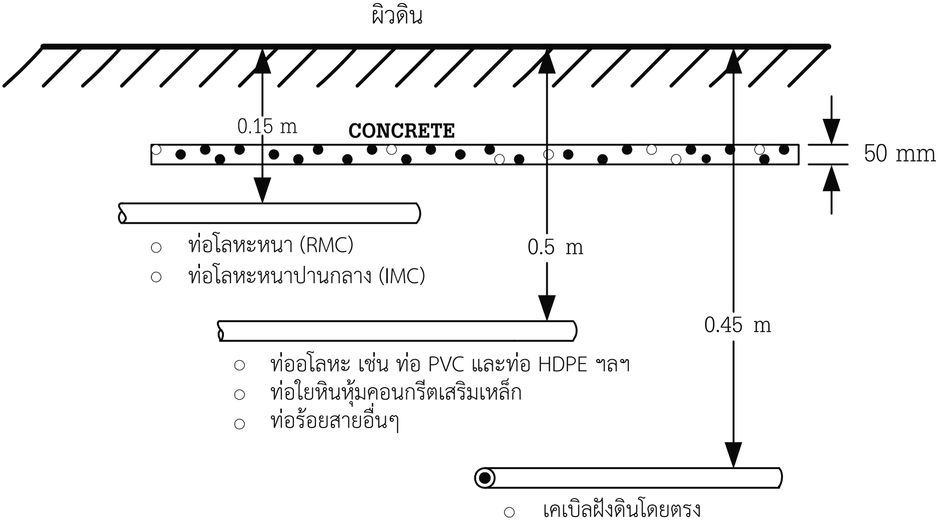
ตารางที่ 12.3 (ตารางที่ 5 - 1)

ความลึกในการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ

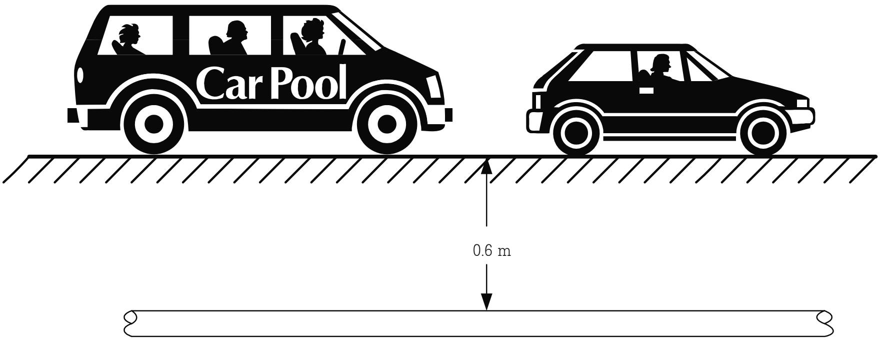
วิธีที่	วิธีการเดินสาย	ความลึกน้อยสุด (m)
1	เคเบิลฝังดินโดยตรง	0.60
2	เคเบิลฝังดินโดยตรงและมีแผ่นคอนกรีต หนาไม่น้อยกว่า 50 mm วางอยู่เหนือสาย	0.45
3	ท่อโลหะหนาและท่อโลหะหนาปานกลาง	0.15
4	ท่ออโลหะซึ่งได้รับการรับรองให้ฝังดินโดยตรงได้โดยไม่ต้องมีคอนกรีตหุ้ม (เช่น ท่อ HDPE, PVC)	0.45
5	ท่อใยหิน หุ้มคอนกรีตเสริมเหล็ก	0.45
6	ท่อร้อยสายอื่นๆ ซึ่งได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้า	0.45



รูปที่ 12.8 ความลึกในการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินในระบบแรงดันต่ำ



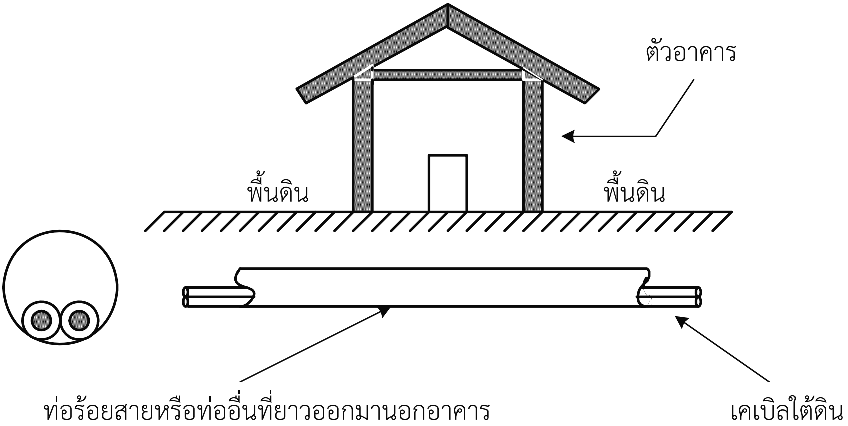
รูปที่ 12.9 ความลึกเมื่อแผ่นคอนกรีตวางอยู่เหนือสาย



รูปที่ 12.10 การติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินบริเวณที่มีรถวิ่งผ่าน

2) สายเคเบิลใต้ดินติดตั้งใต้อาคาร

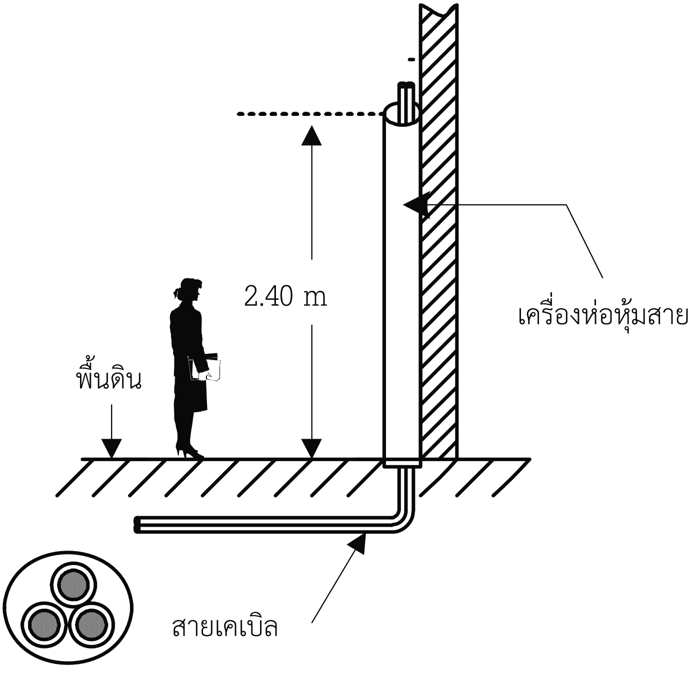
- สายเคเบิลใต้ดินติดตั้งใต้อาคารต้องติดตั้งอยู่ในท่อร้อยสาย
- ท่อร้อยสายต้องยาวเลยผนังด้านนอกของอาคารออกไป



รูปที่ 12.11 สายเคเบิลใต้ดินติดตั้งใต้อาคาร

3) สายเคเบิลที่ฝังดินโดยตรง

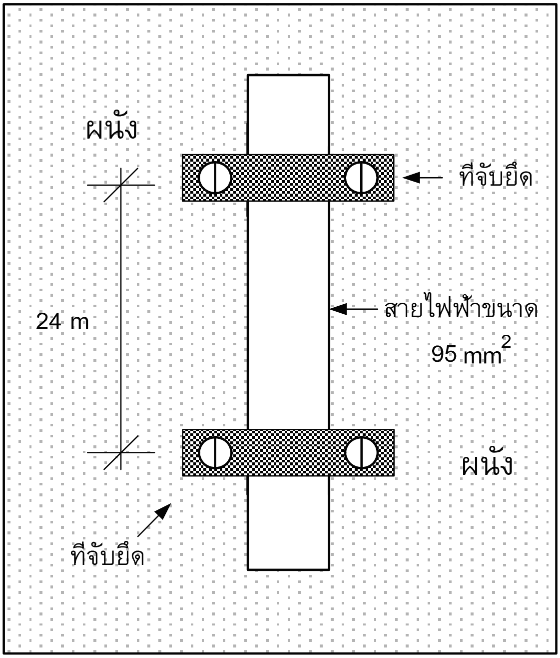
- สายเคเบิลที่ฝังดินโดยตรง ส่วนที่โผล่ขึ้นจากดินต้องมีการป้องกันด้วยเครื่องห่อหุ้มหรือท่อร้อยสายสูงจากระดับพื้นดิน ไม่น้อยกว่า 2.40 m



รูปที่ 12.12 สายเคเบิลที่ฝังดินโดยตรง

12.3.3 การติดตั้งวัสดุและการจับยึด

- ท่อร้อยสาย รางเดินสาย รางเคเบิล เคเบิล กล่อง ตู้และเครื่องประกอบการเดินท่อต้องมีการจับยึดกับที่ให้มั่นคง
- การเดินสายในท่อร้อยสาย ต้องติดตั้งกล่องหรือเครื่องประกอบการเดินท่อ



รูปที่ 12.13 การจับยึดปลายของช่องเดินสาย

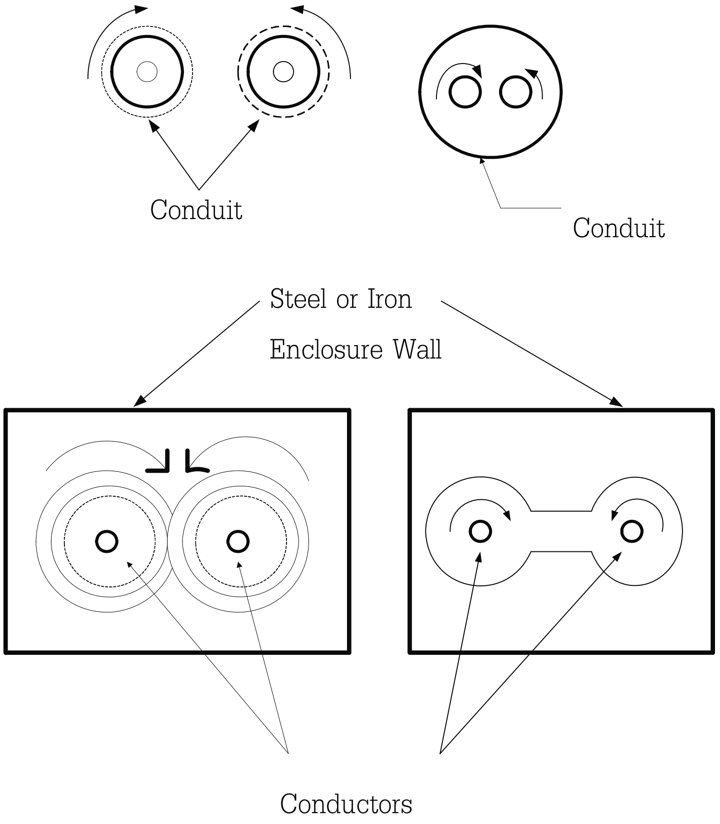
ตารางที่ 12.4 (ตารางที่ 5 - 2)

ระยะห่างสำหรับการจับยึดสายไฟในแนวดิ่ง

ขนาดของสายไฟฟ้า (mm^2)	ระยะจับยึดสูงสุด (m)
ไม่เกิน 50	30
70 - 120	24
150 - 185	18
240	15
300	12
เกินกว่า 300	10

12.3.4 การป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในเครื่องห่อหุ้มหรือช่องเดินสายที่เป็นโลหะ

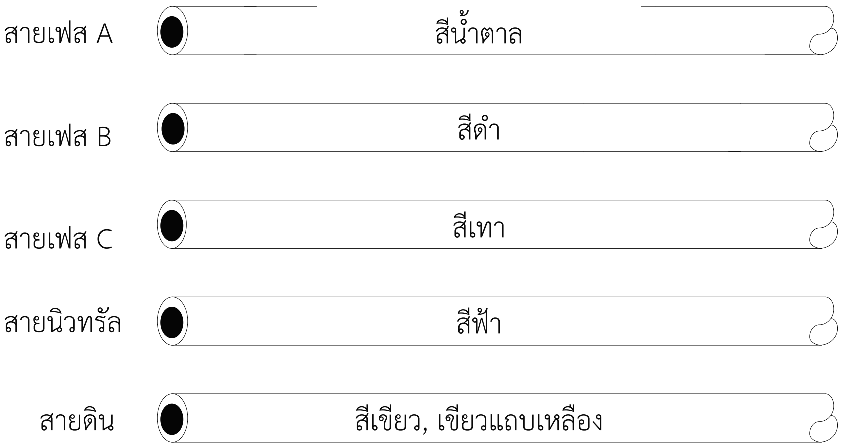
- ช่องเดินสายที่เป็นโลหะต้องไม่ทำให้เกิดความร้อน
- การเดินสายในท่อร้อยสายต้องเดินให้ครบทั้งสายเส้นไฟ และสายนิวทรัล
- ต้องทำการตัดร่องให้ถึงกันระหว่างรูแต่ละรูที่ร้อยสายแต่ละเส้น



รูปที่ 12.14 การป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำ

12.3.5 การกำหนดสีของสายไฟหุ้มฉนวนระบบแรงต่ำ

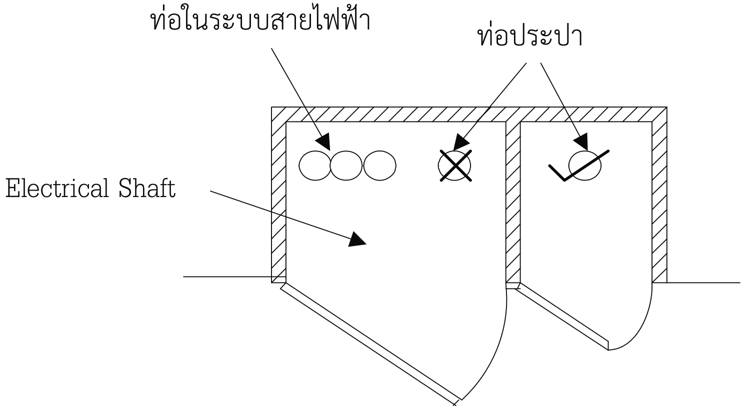
- สายไฟสีน้ำตาล เฟส A, สายไฟสีดำ เฟส B และสายไฟสีเทา เฟส C
- ตัวนำนิวทรัล ใช้สีฟ้า
- สายดินใช้สีเขียว หรือ สีเขียวแถบเหลือง
- สายไฟฟ้าที่มีขนาดโตกว่า 16 mm^2 ให้ทำเครื่องหมายบอกแทน



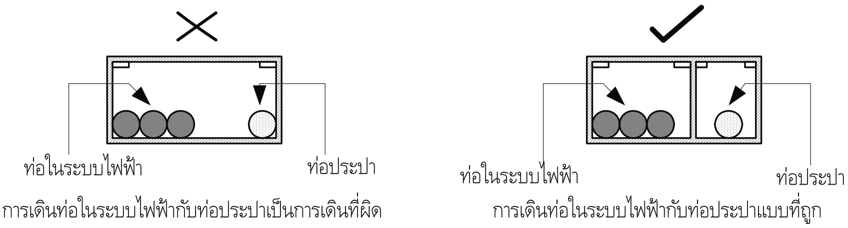
รูปที่ 12.15 สีของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนระบบแรงดันต่ำ

12.3.6 การติดตั้งสายเคเบิลในท่อร้อยสาย รางเคเบิล หรือช่องสำหรับการเดินสาย (Electrical Shaft)

- การเดินท่อระบบไฟฟ้าในช่องสำหรับการเดินสาย ต้องไม่มีท่ออย่างอื่นเดินร่วมด้วย



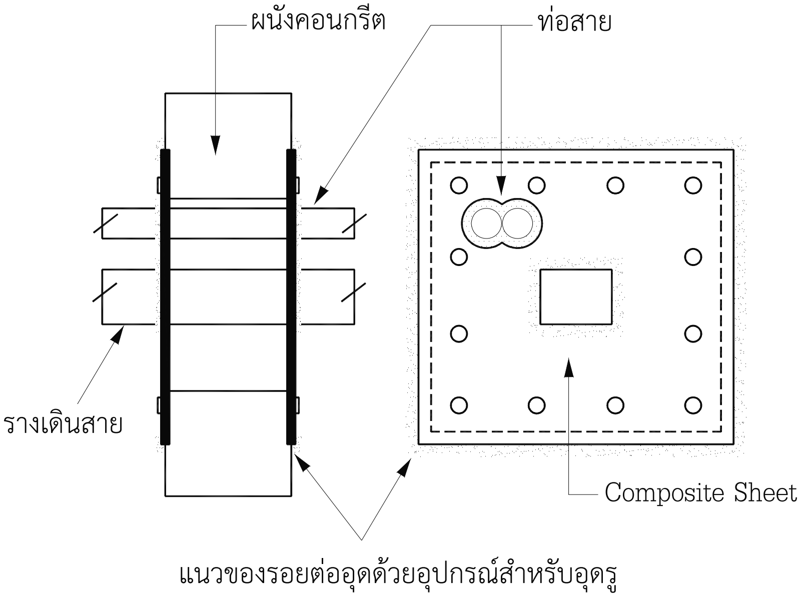
รูปที่ 12.16 การติดตั้งท่อในช่องสำหรับการเดินสาย



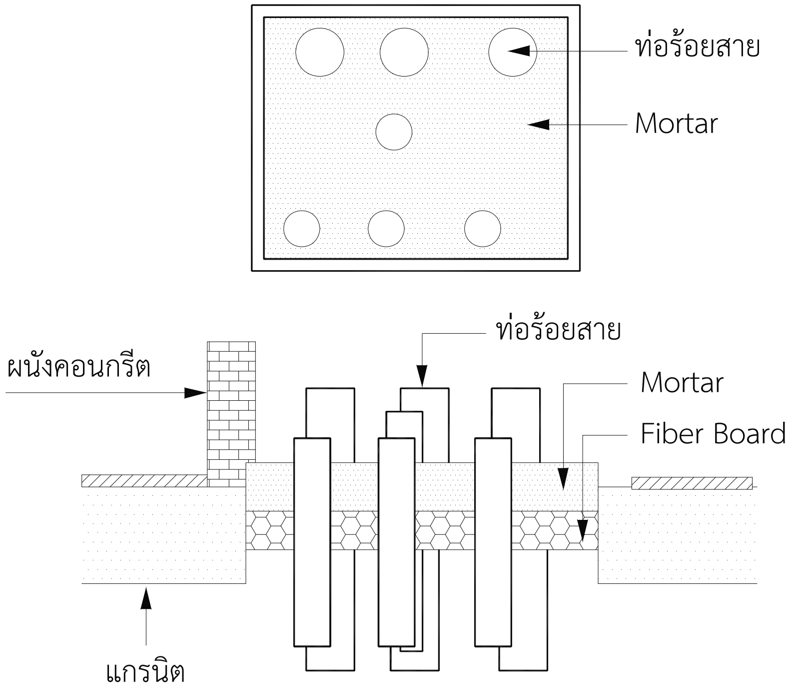
รูปที่ 12.17 แสดงการเปรียบเทียบการติดตั้งท่อในช่องสำหรับการเดินสาย

12.3.7 การป้องกันไม่ให้ไฟลุกลาม

- การเดินท่อระบบไฟฟ้าที่ผ่านผนัง ฉากกั้น พื้นหรือ เพดานต้องมีการป้องกันไม่ให้ไฟลุกลาม



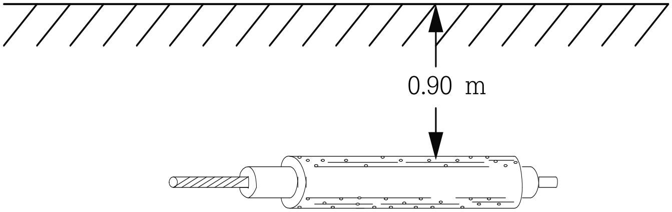
รูปที่ 12.18 การป้องกันไฟลุกลามผ่านพื้น

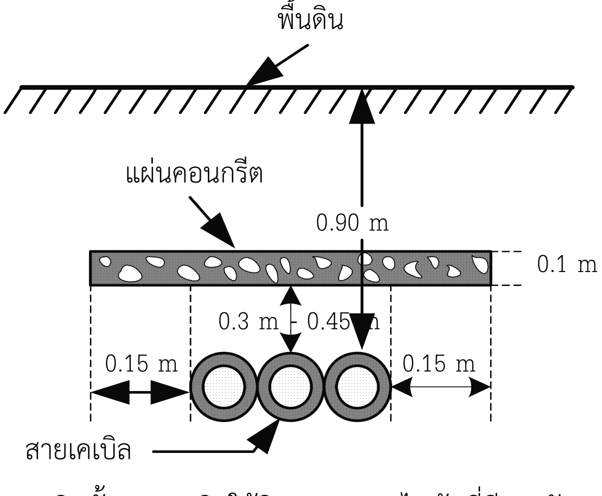


รูปที่ 12.19 การป้องกันไฟลุกลามผ่านผนัง

12.3.8 การติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินของระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง

- สายเคเบิลใต้ดินของระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง ต้องฝังดินลึกไม่น้อยกว่า 0.90 m ในทุกกรณี
- ถ้าเป็นสายฝังดินโดยตรงต้องมีแผ่นคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 100 mm ปิดทับอีกชั้นหนึ่งเหนือสายเคเบิลระหว่าง 0.30 ถึง 0.45 m แผ่นคอนกรีตต้องกว้างพอที่จะปิดคลุมออกไปจากแนวสายทั้งสองข้าง อย่างน้อยข้างละ 0.15 m

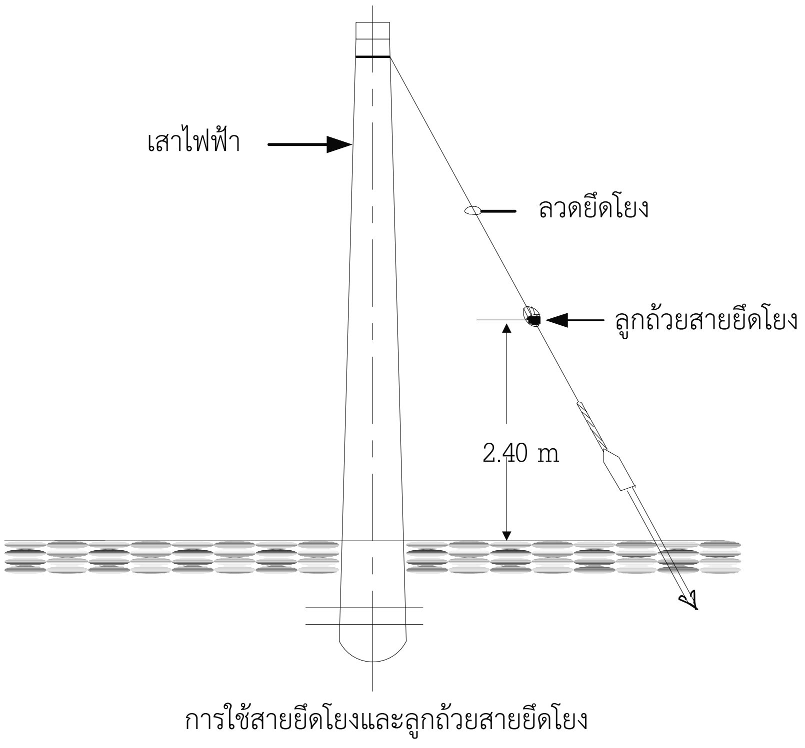




รูปที่ 12.20 การติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินของระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง

3) สำหรับระบบแรงสูง

- ในกรณีที่ติดตั้ง สายยึดโยง (Guy Wire) จะต้องติดตั้ง ลูกถ้วยสายยึดโยง (Guy Strain Insulator) ในสายยึดโยงลูกถ้วยสายยึดโยงนี้ต้องอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.40 m
- ลวดผูกสายที่ใช้งาน ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 10 mm^2



รูปที่ 12.21 การใช้สายยึดโยงและลูกถ้วยสายยึดโยง

12.3.10 ข้อกำหนดสำหรับแผงสวิตช์ (Switchboard) และแผงย่อย (Panelboard)

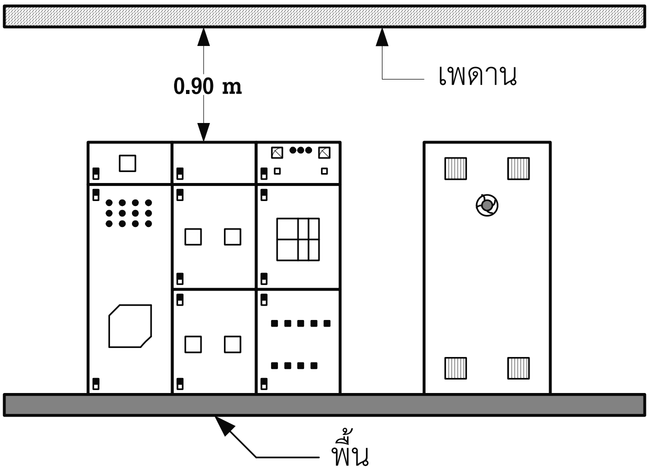
12.3.10.1 แผงสวิตช์ (Switchboard)

1) สถานที่ในการติดตั้ง

- สถานที่ที่มีไฟฟ้าเปิดโล่ง ต้องติดตั้งในที่แห้งเข้าถึงได้และควบคุมโดยเจ้าหน้าที่
- สถานที่เปียกหรือนอกอาคาร ต้องมีเครื่องห่อหุ้มที่ทนสภาพอากาศได้
- สถานที่ที่มีวัตถุติดไฟได้ ต้องติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ต่อวัตถุติดไฟข้างเคียง

2) ระยะห่างส่วนบนของแผงสวิตช์กับเพดาน

- ระยะห่างส่วนบนของแผงสวิตช์กับเพดานที่ไม่ติดไฟได้ต้องอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 0.60 m
- ระยะห่างส่วนบนของแผงสวิตช์กับเพดานที่ติดไฟได้ต้องอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 0.90 m

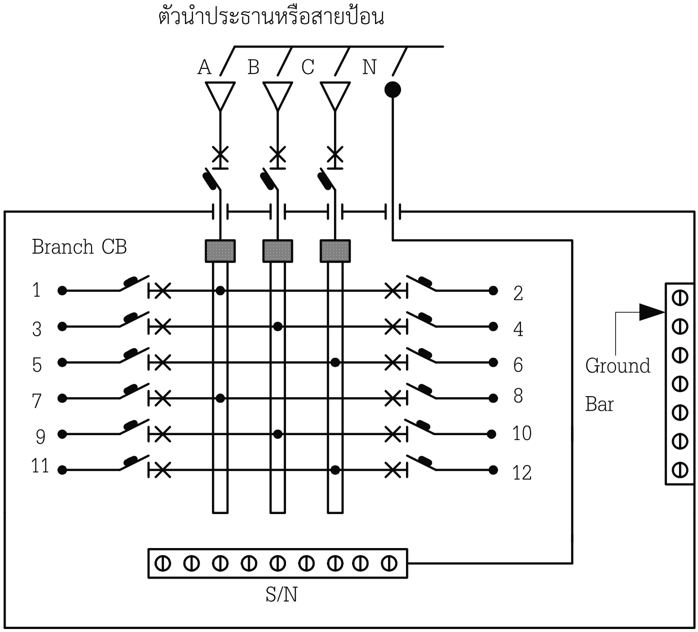


รูปที่ 12.22 แผงสวิตช์ (Switchboard)

3) **สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ**
   - โครงของแผงสวิตช์ และบริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องต่อลงดิน
   - เครื่องมือวัด รีเลย์ มิเตอร์ หรือหม้อแปลงเครื่องวัดซึ่งติดตั้งในแผงสวิตช์ ต้องมีการต่อลงดิน

12.3.10.2 แผงย่อย (Panelboard)

- การติดตั้งแผงย่อยในสถานที่เปียกหรือชื้น ต้องมีพื้นรองรับไม่น้อยกว่า 5 mm
- แผงย่อยที่ประกอบด้วยสวิตช์ธรรมดา ขนาดไม่เกิน 30 A หลายตัวต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกินที่มี พิกัดไม่เกิน 200 A
- เครื่องป้องกันกระแสเกินในแต่ละแผงย่อย ต้องไม่เกิน 42 ขั้ว ไม่รวมขั้วที่เป็นประธาน



รูปที่ 12.23 โครงสร้างของแผงจ่ายไฟ

12.3.10.3 ข้อกำหนดโครงสร้าง

- ใบมีดที่เปิดโล่งของสวิตช์ใบมีด ต้องไม่มีไฟเมื่ออยู่ในตำแหน่งปลด
- แผงสวิตช์ต้องมีระยะห่างระหว่าง บัสบาร์กับด้านล่างของตู้ สำหรับระบบแรงต่ำไม่น้อยกว่า 200 mm สำหรับบัสบาร์หุ้มฉนวนและ 250 mm สำหรับบัสบาร์เปลือย

ตารางที่ 12.7 (ตารางที่ 5 -7)

ระยะห่างต่ำสุดระหว่างส่วนที่มีไฟฟ้าเปลือยกับส่วนที่มีไฟฟ้าเปลือย
และระหว่างส่วนที่มีไฟฟ้าเปลือยกับดินเป็น (mm)

แรงดันระหว่างสายเส้นไฟ (V)	**ขั้วต่างกันเมื่อติดตั้งบนพื้นผิวเดียวกัน**	**ขั้วต่างกันเมื่อขึงในอากาศ**	**ส่วนที่มีไฟฟ้าเปลือยกับดิน**
ไม่เกิน 125	19	12.5	12.5
ไม่เกิน 250	31.5	19	12.5
ไม่เกิน 1000	50	25	25

หมายเหตุ สำหรับระบบแรงสูง 12 kV, 24 kV และ 33 kV
ให้อ้างอิงตาม IEC 60071-2

12.3.11 ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับแผงสวิตช์แรงสูง

- ตัวนำและบัสบาร์ในแผงสวิตช์ต้องติดตั้งอย่างมั่นคง
- ปลอดภัยจากความเสียหายทางกายภาพ
- บัสบาร์แต่ละเฟส ต้องมีการทำเครื่องหมายแสดงเฟส ให้ใช้

	สีแดง	เหลือง	น้ำเงิน	
สำหรับเฟส	อาร์	วาย	บี	ตามลำดับ
	R	Y	B	

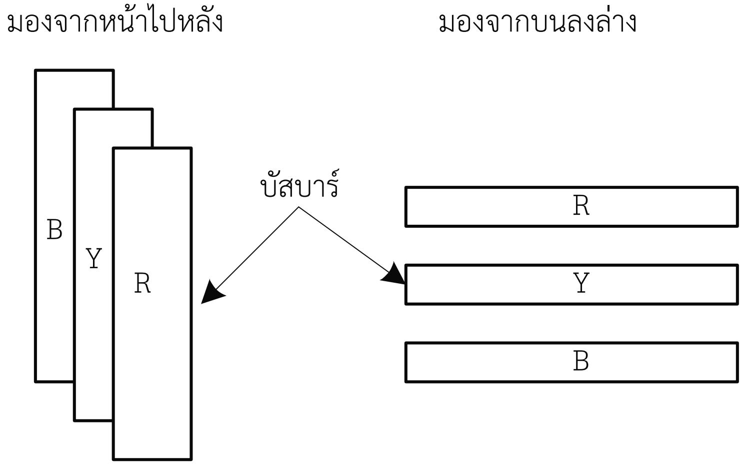
- การจัดเฟสของบัสบาร์ในแผงสวิตช์ เมื่อมองจากด้านหน้าให้อยู่ใน ลักษณะ

เฟส อาร์ (R) วาย (Y) บี (B)

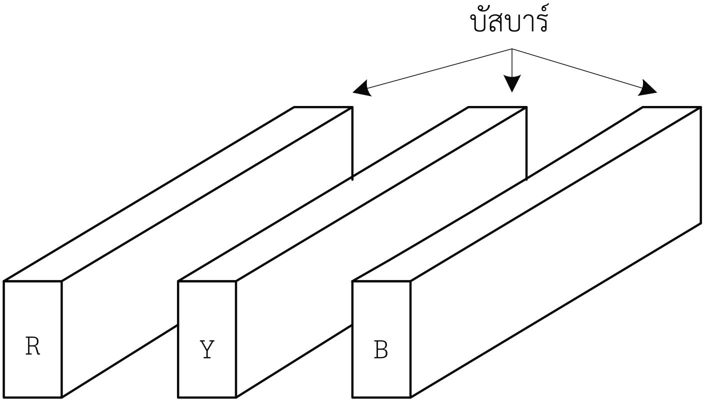
เรียงจาก **ด้านหน้าไปด้านหลังแผง**

จาก **ด้านบนลงด้านล่าง**

หรือจาก **ด้านซ้ายมือไปขวามือ**



รูปที่ 12.24 การทำเครื่องหมายแสดงเฟส



รูปที่ 12.25 การทำเครื่องหมายแสดงเฟสที่บัสบาร์

- ต้องจัดให้มีบัสต่อลงดิน (Grounded Bus) ทำด้วยทองแดง มีขนาดไม่เล็กกว่า 95 mm^2 (12 kV), 50 mm^2 (24 kV) และ 35 mm^2 (33 kV)
- ตัวนำสำหรับต่อลงดินของกับดักเสิร์จ (Surge Protection) ต้องทนแรงดันไม่น้อยกว่า 750 V
- หากสวิตซ์ต่อลงดิน (Earthing Switch) ติดตั้งทางด้านไฟเข้าของสวิตช์ (Load Break Switch) จะต้องมีที่ใส่กุญแจซึ่งสามารถล็อคสวิตช์ต่อลงดินได้ ทั้งตำแหน่งเปิดและปิด และต้องมีป้ายเตือน “ก่อนสับสวิตช์ต้องแจ้งการไฟฟ้าฯ” ให้เห็นอย่างชัดเจน

ภาคผนวก A
จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย

หลักการและข้อกำหนด

- ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. บทที่ 5 ข้อ 5.1.10 จำนวนสายไฟฟ้าสูงสุดในท่อร้อยสาย มีตามตารางที่ 5 - 3
- หาขนาดท่อ และความจุ
- หาขนาดสายไฟฟ้าแบบต่างๆ
- ค่าในตารางสำหรับขนาดสายเท่ากัน

ตารางที่ 5 - 3

พื้นที่หน้าตัดสูงสุดรวมของสายไฟทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับ
พื้นที่หน้าตัดของท่อ

จำนวนสายในท่อร้อยสาย	**1**	**2**	**3**	**4**	**มากกว่า 4**
สายไฟทุกชนิด ***ยกเว้น*** *สายชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม*	53	31	40	40	40
สายไฟชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	55	30	40	38	35

ตารางที่ 1

ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย

ขนาด mm. (นิ้ว)	พ.ท.หน้าตัด 100 % (mm^2)	สาย 1 เส้น 53 % (mm^2)	สาย 2 เส้น 31 % (mm^2)	สาย 3 เส้นขึ้นไป 40 % (mm^2)
15 (1/2)	177	94	55	71
20 (3/4)	314	166	97	126
25 (1)	491	260	152	196
32 (1 1/4)	804	426	249	322
40 (1 1/2)	1257	666	390	503
50 (2)	1963	1041	609	785
65 (2 1/2)	3318	1759	1029	1327
80 (3)	5027	2664	1558	2011
90 (3 1/2)	6362	3372	1972	2545
100 (4)	7854	4163	2435	3142
125 (5)	12272	6504	3804	4909
150 (6)	17671	9366	5478	7069

ตารางที่ 2

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

สาย 60227 IEC 10 2/C, สาย 60227 IEC 10 4/C, สาย VCT 2/C, สาย VCT 4/C

ขนาดสาย	สาย 60227 IEC 10 2/C		สาย 60227 IEC 10 4/C		สาย VCT 2/C		สาย VCT 4/C	
ขนาดสาย (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)
1	-	-	-	-	9.6	72	12.0	113
1.5	10.5	86.6	12.0	113	11.0	95	12.5	123
2.5	12.0	113	13.5	143	12.5	12.3	15.0	177
4	13.0	134	15.0	177	14.5	165	17.0	227
6	14.0	154	17.0	227	16.0	201	19.5	229
10	17.5	241	20.5	330	20.0	314	24.0	452
16	20.0	314	23.5	434	23.0	416	28.0	616
25	24.0	452	28.5	638	27.5	594	33.0	855
35	27.5	594	32.0	804	31.0	755	37.0	1075
50	-	-	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	-	-	-
95	-	-	-	-	-	-	-	-
120	-	-	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-	-
185	-	-	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	-	-	-	-	-
300	-	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ
สาย 60227 IEC 01, สาย NYY 1/C, สาย NYY 2/C, สาย NYY 4/C

ขนาดสาย	สาย 60227 IEC 01		สาย NYY 1/C		สาย NYY 2/C		สาย NYY 4/C	
ขนาดสาย (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)
1	-	-	8.8	60.8	12.5	123	13.5	143
1.5	3.3	8.6	9.2	66.5	13.0	133	14.5	165
2.5	4.0	12.6	9.8	75.4	14.0	154	15.0	201
4	4.6	16.6	10.5	26.6	15.5	189	17.5	240
6	5.2	21.2	11.0	95.0	17.0	227	19.0	283
10	6.7	35.2	12.0	113	19.5	299	23.0	415
16	7.8	47.7	13.0	133	22.5	398	26.5	551
25	9.7	73.8	14.5	165	27.0	573	31.0	755
35	10.9	93.3	16.0	201	29.5	683	35.0	962
50	12.8	129	17.0	227	33.5	881	39.5	1225
70	14.6	167	19.0	284	38.0	1134	44.5	1555
95	17.1	230	21.5	363	42.5	1419	51.5	2083
120	18.8	278	23.0	416	46.5	1698	56.0	2463
150	20.9	343	26.0	531	52.0	2124	62.0	3019
185	23.3	426	28.0	616	57.0	2552	68.0	3632
240	26.6	556	31.5	779	64.0	3217	76.5	4596
300	29.6	688	32.0	962	70.5	3904	85.0	5675
400	33.2	866	38.5	1164	-	-	-	-
500	-	-	43.0	1452	-	-	-	-

ตารางที่ 4

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ สาย XLPE 1/C, สาย XLPE 2/C, สาย XLPE 4/C

ขนาดสาย	สาย XLPE 1/C		สาย XLPE 2/C		สาย XLPE 4/C	
ขนาดสาย (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)
1	-	-	-	-	-	-
1.5	6.5	33.1	10.5	86.6	12.0	113
2.5	7.0	38.4	11.5	104	13.0	133
4	7.5	44.1	12.5	123	14.5	165
6	8.0	50.2	14.0	154	16.0	201
10	8.5	56.7	15.0	177	17.5	241
16	9.5	70.8	17.0	227	19.5	299
25	11.5	104	20.5	330	23.5	434
35	12.5	123	22.5	398	26.5	552
50	14.0	154	26.0	531	30.5	731
70	15.5	189	29.0	661	35.0	962
95	17.5	241	33.0	855	39.0	1195
120	19.5	299	36.5	1046	44.0	1521
150	21.5	363	40.5	1288	48.5	1848
185	23.8	434	45.0	1590	54.0	2290
240	26.5	552	51.0	2043	61.0	2923
300	29.0	661	56.0	2463	67.5	3579
400	32.5	830	-	-	-	-
500	36.5	1046	-	-	-	-

ตัวอย่างที่ A.1

สาย XLPE ขนาด 95 mm^2 ถ้าเดินในท่อร้อยสายขนาด 65 mm จะได้มากที่สุดกี่เส้น

วิธีทำ

จากตารางขนาดสาย XLPE ขนาด 95 mm^2

มีพื้นที่หน้าตัด	=	241	mm^2
และจากตารางขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายได้ว่า 40 %			
ของพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสายที่ขนาด 65 mm	=	1327	mm^2
∴ ได้จำนวนสายมากที่สุดคือ 1327 / 241	=	5.51	เส้น

จำนวนสายมากที่สุดคือ 5 เส้น

ตัวอย่างที่ A.2

ต้องการร้อยสายไฟฟ้า NYY 3 x 240 mm^2 ในท่อร้อยสายจะต้องใช้ท่อร้อยสายขนาดเท่าใด

วิธีทำ

จากตาราง ขนาดสาย NYY

สาย 240 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัด	=	779	mm^2
ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดรวม	=	3 x 779	mm^2
	=	2337	mm^2
จากตาราง ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย			
ท่อ 80 mm, (3”) 40 % ของพื้นที่หน้าตัด	=	2011	mm^2
ท่อ 90 mm, (3 1/2”) 40 % ของพื้นที่หน้าตัด	=	2545	mm^2

ดังนั้นเลือกใช้ท่อขนาด 90 mm (3 1/2”)

ตาราง A - 1

จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้า (60227 IEC 01) ในท่อร้อยสาย

ขนาดสายไฟ (mm^2)	จำนวนสายสูงสุด											
1.5	8	14	22	37	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	5	10	15	25	39	-	-	-	-	-	-	-
4	4	7	11	19	30	-	-	-	-	-	-	-
6	3	5	9	15	23	37	-	-	-	-	-	-
10	2	3	5	9	14	22	37	-	-	-	-	-
16	1	2	4	6	10	16	27	42	-	-	-	-
25	-	1	2	4	6	10	17	27	34	-	-	-
35	-	1	2	3	5	8	14	21	27	33	-	-
50	-	-	1	2	3	6	10	15	19	24	38	-
70	-	-	1	1	3	4	7	12	15	18	29	42
95	-	-	-	1	1	3	5	8	11	13	21	30
120	-	-	-	1	1	2	4	7	9	11	17	25
150	-	-	-	-	1	1	3	5	7	9	14	20
185	-	-	-	-	1	1	2	4	5	7	11	16
240	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	8	12
300	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	7	10
400	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	8
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสาย mm (นิ้ว)	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	50 2	65 2 1/2	80 3	90 3 1/2	100 4	125 5	150 6

ตาราง A - 2

จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้า (NYY) ในท่อร้อยสาย

ขนาดสายไฟ (mm^2)	จำนวนสายสูงสุด											
1	1	1	3	5	8	12	21	33	-	-	-	-
1.5	1	1	2	4	7	11	19	30	-	-	-	-
2.5	1	1	2	4	7	10	17	26	33	-	-	-
4	1	1	1	3	6	9	15	23	29	36	-	-
6	-	1	1	3	5	8	13	21	26	33	-	-
10	-	1	1	2	4	6	11	17	22	27	-	-
16	-	1	1	1	3	5	10	15	19	23	36	-
25	-	1	1	1	3	4	8	12	15	19	29	-
35	-	-	1	1	1	3	6	10	12	15	24	35
50	-	-	1	1	1	3	5	8	11	13	21	31
70	-	-	-	1	1	2	4	7	8	11	17	24
95	-	-	-	1	1	1	3	5	7	8	13	19
120	-	-	-	1	1	1	3	4	6	7	11	17
150	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	9	13
185	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	7	11
240	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6	9
300	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	7
400	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	4	6
500	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	3	4
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสาย mm (นิ้ว)	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	50 2	65 2 1/2	80 3	90 3 1/2	100 4	125 5	150 6

ตาราง A – 3

จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้า (XLPE) ในท่อร้อยสาย

ขนาดสายไฟ (mm^2)	จำนวนสายสูงสุด										
1.5	2	3	5	9	15	23	-	-	-	-	-	-
2.5	1	3	5	8	13	20	34	-	-	-	-	-
4	1	2	4	7	11	17	30	-	-	-	-	-
6	1	2	3	6	10	15	26	40	-	-	-	-
10	1	2	3	5	8	13	23	35	-	-	-	-
16	1	1	2	4	7	11	18	28	35	-	-	-
25	-	1	1	3	4	7	12	19	24	30	-	-
35	-	1	1	2	4	6	10	16	20	25	39	-
50	-	-	1	2	3	5	8	13	16	20	31	-
70	-	-	1	1	2	4	7	10	13	16	25	37
95	-	-	-	1	2	3	5	8	10	13	20	29
120	-	-	-	1	1	2	4	6	8	10	16	23
150	-	-	-	-	1	2	3	5	7	8	13	19
185	-	-	-	-	1	1	3	4	5	7	11	16
240	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	8	12
300	-	-	-	-	-	1	2	3	3	4	7	10
400	-	-	-	-	-	-	1	2	3	3	5	8
500	-	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสาย mm (นิ้ว)	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	50 2	65 2 1/2	80 3	90 3 1/2	100 4	125 5	150 6

ภาคผนวก B
จำนวนสายไฟฟ้าในรางเดินสาย (Wireways)

หลักการและข้อกำหนด

- จำนวนสายไฟฟ้าสูงสุดในรางเดินสาย (Wireways) ข้อ 5.12 ต้องไม่เกิน 20 % พื้นที่หน้าตัดของรางเดินสาย (Wireways)
- ถ้าสายตัวนำกระแสไม่เกิน 30 เส้น ยอมให้คิดพิกัดกระแสตามตารางในท่อ ไม่เกิน 3 เส้น

  สาย PVC ตารางที่ 5 - 20 ตัวนำกระแส 3

  สาย XLPE สายทนไฟ ตารางที่ 5 - 27 ตัวนำกระแส 3

สายไฟฟ้าในรางเดินสาย (Wireways)

สถานที่ใช้งาน

- อนุญาตให้ใช้ในที่เปิดโล่ง ซึ่งเข้าถึงได้เพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาตลอดความยาว
- ห้ามใช้ในฝ้าเพดาน
- สายแกนเดี่ยวของวงจรเดียวกันรวมทั้งสายดินต้องวางเป็นกลุ่มเดียวกัน แล้วมัดรวมเข้าด้วยกัน

ห้ามติดตั้ง หรือใช้รางเดินสายในกรณีต่อไปนี้

1) ต่อรางเดินสายตรงจุดที่ผ่านผนังหรือพื้น
2) เป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน
3) ขนาดเกิน 150 x 300 mm

ตัวอย่างที่ B.1

รางเดินสายขนาด 100 x 100 mm สามารถบรรจุสายไฟฟ้า 60227 IEC 01 ขนาด 25 mm^2 ได้กี่เส้น

วิธีทำ

สายไฟฟ้า 60227 IEC 01 ขนาด 25 mm^2

จากตาราง มีพื้นที่หน้าตัดขวาง	=	73.8	mm^2
รางเดินสายขนาด		100 x 100	mm
มีพื้นที่หน้าตัดขวาง	=	100 x 100	
	=	10,000	mm^2
จำนวนสายไฟฟ้า	=	0.2 x 10,000 / 73.8	
	=	27.1	

สามารถบรรจุได้ 27 เส้น (ตาราง B - 1)

ตัวอย่างที่ B.2

สายป้อน, 3 ph, 4 w 230 / 400 V ใช้สาย XLPE 7 (4 x 50 mm^2) จะต้องใช้รางเดินสาย (Wireways) ขนาดเท่าใดและพิกัดกระแสเป็นเท่าใด

วิธีทำ

สาย XLPE 50 mm^2 จำนวน 7 x 4 = 28 เส้น

จาก ตาราง B - 3 ใช้รางเดินสาย (Wireways) ขนาด 100 x 250 mm

พิกัดกระแส สาย XLPE ตารางที่ 5 - 27

4 x 50 mm^2 , I = 159 A

ตาราง B – 1
จำนวนสูงสุดของสาย 60227 IEC 01 ในรางเดินสาย (Wireways)

ขนาด (mm^2	จำนวนสูงสุดของสาย 60227 IEC 01 ในรางเดินสาย								
	ขนาด รางเดินสาย Wireways mm x mm								
	50 x 75	50 x 100	75 x 100	100 x 100	100 x 150	100 x 200	100 x 250	100 x 300	150 x 300
1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	59	-	-	-	-	-	-	-	-
4	45	-	-	-	-	-	-	-	-
6	35	47	-	-	-	-	-	-	-
10	21	28	-	-	-	-	-	-	-
16	15	20	31	41	-	-	-	-	-
25	10	13	20	27	-	-	-	-	-
35	8	10	16	21	32	-	-	-	-
50	-	7	11	15	23	31	38	-	-
70	-	-	-	-	17	23	29	35	-
95	-	-	-	-	13	17	21	26	39
120	-	-	-	-	-	-	17	21	32
150	-	-	-	-	-	-	14	17	26
185	-	-	-	-	-	-	-	-	21
240	-	-	-	-	-	-	-	-	16
300	-	-	-	-	-	-	-	-	13
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตาราง B – 2

จำนวนสูงสุดของสาย NYY ในรางเดินสาย (Wireways)

ขนาด (mm²)	จำนวนสูงสุดของสาย NYY ในรางเดินสาย								
	ขนาด รางเดินสาย Wireways mm x mm								
	50 x 75	50 x 100	75 x 100	100 x 100	100 x 150	100 x 200	100 x 250	100 x 300	150 x 300
1.0	12	16	24	32	-	-	-	-	-
1.5	11	15	22	30	-	-	-	-	-
2.5	9	13	19	26	-	-	-	-	-
4	-	11	17	23	-	-	-	-	-
6	-	-	15	21	31	-	-	-	-
10	-	-	13	17	26	35	-	-	-
16	-	-	-	15	22	30	37	-	-
25	-	-	-	-	18	24	30	36	-
35	-	-	-	-	-	19	24	29	44
50	-	-	-	-	-	17	22	26	39
70	-	-	-	-	-	-	17	21	31
95	-	-	-	-	-	-	-	16	24
120	-	-	-	-	-	-	-	-	21
150	-	-	-	-	-	-	-	-	16
185	-	-	-	-	-	-	-	-	14
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตาราง B – 3

จำนวนสูงสุดของสาย XLPE ในรางเดินสาย (Wireways)

ขนาด (mm^2)	จำนวนสูงสุดของสาย XLPE ในรางเดินสาย								
	ขนาดรางเดินสายWireways mm x mm								
	50 x 75	50 x 100	75 x 100	100 x 100	100 x 150	100 x 200	100 x 250	100 x 300	150 x 300
1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	22	30	-	-	-	-	-	-	-
2.5	19	26	-	-	-	-	-	-	-
4	17	22	34	-	-	-	-	-	-
6	-	19	29	-	-	-	-	-	-
10	-	17	26	35	-	-	-	-	-
16	-	-	21	28	42	-	-	-	-
25	-	-	14	19	28	-	-	-	-
35	-	-	-	16	24	32	-	-	-
50	-	-	-	-	19	25	32	-	-
70	-	-	-	-	-	21	26	31	-
95	-	-	-	-	-	16	20	24	37
120	-	-	-	-	-	-	16	20	30
150	-	-	-	-	-	-	-	16	24
185	-	-	-	-	-	-	-	-	20
240	-	-	-	-	-	-	-	-	16
300	-	-	-	-	-	-	-	-	13
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวก C
ขนาดสายดิน

หลักการและข้อกำหนด

ขนาดสายดิน มี 2 แบบคือ

1. สายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าตารางที่ 4.1 ของบทที่ 4
2. สายดินบริภัณฑ์ไฟฟ้าตารางที่ 4.2 ของบทที่ 4

ตัวอย่างที่ C.1

สถานประกอบการแห่งหนึ่งใช้ไฟฟ้ามิเตอร์ 400 A 3 เฟส 4 สาย ใช้สายไฟ NYY ขนาด 2 (4 x 150 mm^2) ในท่อขนาดกลาง (IMC) 2 x 80 mm (3”) สายต่อหลักดินจะใช้ขนาดเท่าใด

วิธีทำ

สายเฟสใช้ขนาด 2 x 150 = 300 mm^2

จากตารางที่ 10.1 สายประธานขนาด 185 - 300 mm^2

ใช้สายต่อหลักดินขนาด 50 mm^2

ตัวอย่างที่ C.2

สายป้อนมี CB 320 A สายดินบริภัณฑ์ไฟฟ้า ขนาดเท่าใด

วิธีทำ

จาก ตารางที่ 4 - 2

CB 200 A สายดิน 16 mm^2

CB 400 A สายดิน 25 mm^2

CB 320 A ใช้สายดิน 25 mm^2

ตาราง C – 1

ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้า

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (mm^2)	**ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) (mm^2)**
ไม่เกิน 35	10 (หมายเหตุ)
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน 300 แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95

หมายเหตุ แนะนำให้ติดตั้งในท่อโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง ท่อโลหะบาง หรือท่อโลหะ

ตาราง C – 2

ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (AT)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (mm^2)
20	2.5*
40	4*
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

หมายเหตุ * หากความยาวของวงจรย่อยเกิน 30 เมตร ให้พิจารณาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า โดยคำนึงถึงค่า Earth fault loop impedance ของวงจร

ภาคผนวก D
ขนาดสายไฟ และท่อตามขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ระบบจ่ายไฟฟ้า 240 / 416 V ของ กฟน.

หลักการและข้อกำหนด

- ขนาดสายไฟฟ้า ให้คิดมากกว่าขนาดกระแส AT ของ CB
- สายต่อหลักดิน ใช้ตามตารางที่ 4 - 1

ตัวอย่างที่ D.1

มิเตอร์ 15 (45 A), 220 V, 1 ph ให้หาขนาดสาย 60227 IEC 01 เดินร้อยท่อในอากาศ

วิธีทำ

จากตารางใช้ CB 50 A

Ic > 50 A

ตารางที่ 5 - 20 2 x 16 mm^2 (66 A)

สายต่อหลักดินใช้ตารางที่ 4 - 1

สาย 2 x 16 mm^2, สายต่อหลักดิน 10 mm^2

ขนาดท่อ 20 mm

ตัวอย่างที่ D.2

มิเตอร์ 200 A, 220/380 V 3ph, 4w ให้หาขนาดสาย NYY แกนเดียว ร้อยท่อฝังดิน

วิธีทำ

จากตารางใช้ CB 250 A

Ic > 250 A

ตารางที่ 5 - 23 4 x 150 mm^2 (266 A)

สายต่อหลักดินใช้ตารางที่ 4 - 1

สาย 4 x 150 mm^2, สายต่อหลักดิน 35 mm^2

ขนาดท่อ 90 mm

ตาราง D - 1
ขนาดสายไฟฟ้าตามขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า
สาย 60227 IEC 01

ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (A)	เดินลอยในอากาศ		เดินในท่อร้อยสายในอากาศ			CB (A)
	ขนาดสาย (mm^2)	สายต่อหลักดิน (mm^2)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm.)	สายต่อหลักดิน (mm^2)	
5 (15 A) 1P	2 x 4	10	2 x 4	15	10	16
15 (45 A) 1P	2 x 10	10	2 x 16	20	10	50
30 (100 A) 1P	2 x 25	10	2 x 35	32	10	100
50 (150 A) 1P	2 x 35	10	2 x 50	40	16	125
15 (45 A) 3P	4 x 10	10	4 x 16	25	10	50
30 (100 A) 3P	4 x 25	10	4 x 50	50	16	100
50 (150 A) 3P	4 x 35	10	4 x 70	50	25	125
200 A 3P	4 x 95	25	4 x 185	80	35	250
400 A 3P	4 x 300	50	2 (4 x 185)	2 x 80	70	500

ตาราง D - 2

ขนาดสายไฟฟ้าตามขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า

สาย NYY

ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (A)	เดินในท่อร้อยสายในอากาศ			เดินในท่อร้อยสายฝังดิน			CB (A)
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	สายต่อหลักดิน (mm^2)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	สายต่อหลักดิน (mm^2)	
5 (15 A) 1P	2 x 4	32	10	2 x 10	32	10	16
15 (45 A) 1P	2 x 16	40	10	2 x 10	32	10	50
30 (100 A) 1P	2 x 35	50	10	2 x 25	40	10	100
50 (150 A) 1P	2 x 50	50	16	2 x 35	50	10	125
15 (45 A) 3P	4 x 16	50	10	4 x 10	40	10	50
30 (100 A) 3P	4 x 50	65	16	4 x 35	65	10	100
50 (150 A) 3P	4 x 70	65	25	4 x 50	65	16	125
200 A 3P	4 x 185	90	35	4 x 150	90	35	250
400 A 3P	2 (4 x 185)	2x90	70	2 (4 x 185)	2x90	50	500

ตาราง D - 3

ขนาดสายไฟฟ้าตามขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า

สาย XLPE

ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (A)	เดินในท่อร้อยสายในอากาศ			เดินในท่อร้อยสายฝังดิน			CB (A)
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	สายต่อหลักดิน (mm^2)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	สายต่อหลักดิน (mm^2)	
5 (15 A) 1P	2 x 4	20	10	2 x 10	25	10	16
15 (45 A) 1P	2 x 10	25	10	2 x 10	25	10	50
30 (100 A) 1P	2 x 25	32	10	2 x 25	32	10	100
50 (150 A) 1P	2 x 35	32	10	2 x 35	40	10	125
15 (45 A) 3P	4 x 10	32	10	4 x 10	32	10	50
30 (100 A) 3P	4 x 25	40	10	4 x 25	40	10	100
50 (150 A) 3P	4 x 35	40	10	4 x 35	40	10	125
200 A 3P	4 x 120	65	35	4 x 120	65	35	250
400 A 3P	2 (4 x 120)	2x65	50	2 (4 x 150)	2x80	50	500

ภาคผนวก E
ขนาดสายไฟฟ้าตามขนาด CB ในท่อร้อยสาย

หลักการและข้อกำหนด

- พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า AT ของ CB
- พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายการติดตั้งกลุ่มที่ 2, 5

  สาย PVC ตารางที่ 5 - 20, ตารางที่ 5 - 23

  สาย XLPE ตารางที่ 5 - 27, ตารางที่ 5 - 29
- ร้อยท่อฝังดิน ตัวคูณปรับค่า ตารางที่ 5 - 46
- สายดิน ใช้ตารางที่ 4 - 2
- ขนาดสาย Neutral ต้องทำตาม ข้อ 3.2.4 ขนาดตัวนำ Neutral ของสายป้อนในตาราง

  CB 16 - 200 A จะให้ใช้ Full Neutral

  CB 250 - 400 A จะให้ใช้ Full Neutral และ Half Neutral

  CB 500 - 1000 A จะให้ใช้ Half Neutral
- การที่ผู้เขียนทำตาราง Half Neutral ให้นั้น เพราะต้องการประหยัด เนื่องจาก วงจรจริงขนาดใหญ่นั้น จะต้องออกแบบให้ Balanced กระแสที่ไหลใน Neutral จะน้อยมาก ทำให้สามารถใช้ Neutral ขนาดเล็กลงได้ และมาตรฐานก็อนุญาตให้ใช้ได้ แต่ถ้าผู้ใช้งานอยากใช้แบบ Full Neutral คือ ขนาดสาย Neutral เท่ากับสาย Phase ก็สามารถทำได้เลย และขนาดท่อร้อยสาย ยังใช้ขนาดเท่าเดิมเพราะได้เผื่อไว้แล้ว

ตัวอย่างที่ E.1

วงจรย่อย 1 เฟส, 230 V, 20 A, 32 A, 40 A, 50 A ใช้กับวงจรปกติและวงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต จะต้องใช้สาย และท่อขนาดเท่าใดการติดตั้งกลุ่มที่ 2

วิธีทำ

วงจรปกติ ใช้สาย 60227 IEC 01 (THW) ตารางที่ 5 - 20

BC 20 A 2 x 2.5, G - 2.5 mm²	(21 A)	ϕ 15 mm
BC 32 A 2 x 6, G - 4 mm²	(36 A)	ϕ 15 mm
BC 40 A 2 x 10, G - 6 mm²	(50 A)	ϕ 20 mm
BC 50 A 2 x 10, G - 6 mm²	(50 A)	ϕ 20 mm

วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต ใช้สายทนไฟตารางที่ 5 - 27

BC 20 A 2 x 2.5, G - 2.5 mm²	(28 A)	ϕ 20 mm
BC 32 A 2 x 4, G - 4 mm²	(38 A)	ϕ 25 mm
BC 40 A 2 x 6, G - 4 mm²	(49 A)	ϕ 25 mm
BC 50 A 2 x 10, G - 6 mm²	(63 A)	ϕ 25 mm

ตัวอย่างที่ E.2

วงจรสายป้อน 1 เฟส 230 V จ่ายไฟให้โหลดขนาด 80 A, 230 V ถ้าใช้สาย 60227 IEC 01 และ XLPE จะต้องใช้สาย และท่อขนาดเท่าใด การติดตั้งกลุ่มที่ 2

วิธีทำ

I = 80 A

ใช้ CB 100 A

CB 100 A

ตารางที่ 4 - 2 G - 10 mm^2

สาย 60227 IEC 01

ตารางที่ 5 - 20 ตัวนำกระแส 2

ใช้สาย 2 x 35 mm^2, G - 10 mm^2 (109 A)

ขนาดท่อ 32 mm

สาย XLPE

ตารางที่ 5 - 27 ตัวนำกระแส 2

ใช้สาย 2 x 25 mm^2, G - 10 mm^2 (108 A)

ขนาดท่อ 32 mm

ตัวอย่างที่ E.3

CB 200 A, 3 ph, 4 w 230 / 400 V ให้หาขนาดสาย 60227 IEC 01 และขนาดท่อ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

วิธีทำ

I_c > 200 A

ตารางที่ 5 - 20 สาย 60227 IEC 01, 4 x 120 mm² (208 A)

สายดิน ใช้ ตารางที่ 4 - 2

CB 200 A G - 16 mm²

4 x 120, G - 16 mm²

ขนาดท่อ 65 mm **ตาราง E - 3**

ตัวอย่างที่ E.4

CB 500 A, 3 ph, 4 w 230 / 400 V ร้อยท่อฝังดิน ท่อวางชิดกัน ให้หาขนาดสาย XLPE และท่อ ใช้ 2 ควบ

วิธีทำ

CB 500 A ตารางที่ 4 - 2 สายดิน G - 35 mm²

2 ท่อวางชิดกันตัวคูณปรับค่า ตารางที่ 5 - 46

C_g = 0.85

I_c = 500 / (2 x 0.85) = 294 A

ตารางที่ 5 - 29 สาย 150 mm² (312 A)

2 (3 x 150, 1 x 95, G - 35 mm²)

ขนาดท่อ 65 mm **ตาราง E - 7**

ตาราง E - 1

วงจร 1 เฟส, 2 สาย สาย PVC แกนเดียว ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

CB (A)	สาย PVC แกนเดียว		
	ขนาดสาย (mm^2)	60227 IEC 01 (THW) ขนาดท่อ (mm)	NYY ขนาดท่อ (mm)
16	2 x 2.5, G – 2.5	15	32
20	2 x 2.5, G – 2.5	15	32
25	2 x 4, G – 4	15	32
32	2 x 6, G – 4	15	32
40	2 x 10, G – 4	20	40
50	2 x 10, G – 6	20	40
63	2 x 16, G – 6	25	40
80	2 x 25, G – 10	32	40
100	2 x 35, G – 10	32	50
125	2 x 50, G – 16	40	50
160	2 x 70, G – 16	40	65
200	2 x 95, G – 16	50	65

ตาราง E - 2

วงจร 3 เฟส, 4 สาย สาย 60227 IEC 01 ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

CB (A)	Full Neutral		Half Neutral	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	4 x 2.5, G - 2.5	15	-	-
20	4 x 4, G - 2.5	20	-	-
25	4 x 6, G - 4	20	-	-
32	4 x 10, G - 4	25	-	-
40	4 x 10, G - 4	25	-	-
50	4 x 16, G - 6	32	-	-
63	4 x 25, G - 6	32	-	-
80	4 x 35, G - 10	40	-	-
100	4 x 50, G - 10	50	-	-
125	4 x 70, G - 16	50	-	-
160	4 x 95, G - 16	65	-	-
200	4 x 120, G - 16	65	-	-
250	4 x 185, G - 25	80	3 x 185, 1 x 95, G - 25	80
320	4 x 300, G - 25	100	3 x 300, 1 x 150, G - 25	90
400	4 x 400, G - 25	125	3 x 400, 1 x 240, G - 25	125
500	-	-	2 (3 x 185, 1 x 95, G - 35)	2 x 80
630	-	-	2 (3 x 300, 1 x 150, G - 50)	2 x 100
800	-	-	2 (3 x 400, 1 x 240, G - 50)	2 x 125
1000	-	-	3 (3 x 300, 1 x 150, G - 70)	3 x 100

ตาราง E - 3

วงจร 3 เฟส, 4 สาย สาย NYY แกนเดียว ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

CB (A)	Full Neutral		Half Neutral	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	4 x 2.5, G – 2.5	40	-	-
20	4 x 4, G – 2.5	40	-	-
25	4 x 6, G – 4	40	-	-
32	4 x 10, G – 4	50	-	-
40	4 x 10, G – 4	50	-	-
50	4 x 16, G – 6	50	-	-
63	4 x 25, G – 6	50	-	-
80	4 x 35, G – 10	65	-	-
100	4 x 50, G – 10	65	-	-
125	4 x 70, G – 16	65	-	-
160	4 x 95, G – 16	80	-	-
200	4 x 120, G – 16	80	-	-
250	4 x 185, G – 25	100	3 x 185, 1 x 95, G – 25	90
320	4 x 300, G – 25	125	3 x 300, 1 x 150, G – 25	100
400	2 (4 x 120, G – 25)	2 x 80	2 (3 x 120, 1 x 70, G – 25)	2 x 80
500	-	-	2 (3 x 185, 1 x 95, G – 35)	2 x 90
630	-	-	2 (3 x 300, 1 x 150, G – 50)	2 x 100
800	-	-	2 (3 x 400, 1 x 240, G – 50)	2 x 125
1000	-	-	3 (3 x 300, 1 x 150, G – 70)	3 x 125

ตาราง E - 4

วงจร 1 เฟส, 2 สาย สาย NYY แกนเดียว ร้อยท่อฝังดิน การติดตั้งกลุ่มที่ 5

CB (A)	สาย NYY แกนเดียว	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	2 x 2.5, G – 2.5	32
20	2 x 2.5, G – 2.5	32
25	2 x 2.5, G – 2.5	32
32	2 x 4, G – 4	32
40	2 x 6, G – 4	32
50	2 x 10, G – 6	40
63	2 x 16, G – 6	40
80	2 x 16, G – 6	40
100	2 x 25, G – 10	40
125	2 x 35, G – 16	50
160	2 x 70, G – 16	65
200	2 x 95, G – 16	65

ตาราง E - 5

วงจร 3 เฟส, 4 สาย สาย NYY แกนเดียว ร้อยท่อฝังดิน การติดตั้งกลุ่มที่ 5

CB (A)	Full Neutral		Half Neutral	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	4 x 2.5, G – 2.5	40	-	-
20	4 x 2.5, G – 2.5	40	-	-
25	4 x 4, G – 4	40	-	-
32	4 x 4, G – 4	40	-	-
40	4 x 4, G – 4	40	-	-
50	4 x 10, G – 6	50	-	-
63	4 x 16, G – 6	50	-	-
80	4 x 25, G – 10	65	-	-
100	4 x 35, G – 10	65	-	-
125	4 x 50, G – 16	65	-	-
160	4 x 70, G – 16	80	-	-
200	4 x 95, G – 16	80	-	-
250	4 x 150, G – 25	100	3 x 150, 1 x 95, G – 25	100
320	-	-	3 x 240, 1 x 120, G – 25	100
400	-	-	3 x 300, 1 x 150, G – 25	125
500	-	-	2 (3 x 185, 1 x 95 , G – 35)	2 x 90
630	-	-	2 (3 x 300, 1 x 150, G – 50)	2 x 125
800	-	-	3 (3 x 240, 1 x 120, G – 50)	3 x 100
1000	-	-	3 (3 x 400, 1 x 240, G – 70)	3 x 125

ตาราง E - 6

วงจร 1 เฟส, 2 สาย สาย PVC หลายแกน ร้อยในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

CB (A)	สาย 60227 IEC 10, NYY หลายแกน	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	2/C x 2.5, G – 2.5	25
20	2/C x 2.5, G – 2.5	25
25	2/C x 4, G – 4	25
32	2/C x 6, G – 4	32
40	2/C x 10, G – 4	40
50	2/C x 16, G – 6	40
63	2/C x 25, G – 6	50
80	2/C x 35, G – 10	65
100	2/C x 50, G – 10	65
125	2/C x 70, G – 16	80
160	2/C x 95, G – 16	80
200	2/C x 120, G – 16	90

ตาราง E - 7

วงจร 3 เฟส, 4 สาย สาย PVC หลายแกน ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

CB (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	4/C x 2.5, G – 2.5	32	-	-
20	4/C x 4, G – 2.5	32	-	-
25	4/C x 6, G – 4	32	-	-
32	4/C x 10, G – 4	40	-	-
40	4/C x 10, G – 4	40	-	-
50	4/C x 16, G – 6	50	-	-
63	4/C x 25, G – 6	65	-	-
80	4/C x 35, G – 10	65	-	-
100	4/C x 50, G – 10	80	-	-
125	4/C x 70, G – 16	90	-	-
160	4/C x 120, G – 16	125	-	-
200	4/C x 185, G – 16	125	-	-
250	4/C x 240, G – 25	150	-	-
320	2 (4/C x 120, G – 25)	2 x 125	-	-
400	2 (4/C x 185, G – 35)	2 x 125	-	-
500	2 (4/C x 240, G – 35)	2 x 150	3 (4/C x 120, G - 35)	3 x 125
630	3 (4/C x 185, G – 50)	3 x 125	4 (4/C x 120, G - 50)	4 x 125
800	4 (4/C x 185, G – 50)	4 x 125	5 (4/C x 120, G - 50)	5 x 125
1000	4 (4/C x 240, G – 70)	4 x 150	5 (4/C x 185, G - 70)	5 x 125

ตาราง E - 8

วงจร 1 เฟส, 2 สาย สาย PVCหลายแกน ร้อยท่อฝังดิน การติดตั้งกลุ่มที่ 5

CB (A)	สาย 60227 IEC10, NYY หลายแกน	
	ขนาดสาย (mm²)	**ขนาดท่อ (mm)**
16	2/C x 2.5, G – 2.5	25
20	2/C x 2.5, G – 2.5	25
25	2/C x 2.5, G – 2.5	25
32	2/C x 4, G – 4	32
40	2/C x 6, G – 4	32
50	2/C x 10, G – 6	40
63	2/C x 16, G – 6	50
80	2/C x 16, G – 10	50
100	2/C x 25, G – 10	65
125	2/C x 35, G – 16	65
160	2/C x 70, G – 16	80
200	2/C x 95, G – 16	80

ตาราง E - 9

วงจร 3 เฟส, 4 สาย สาย PVC หลายแกน ร้อยท่อฝังดิน การติดตั้งกลุ่มที่ 5

CB (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	4/C x 2.5, G – 2.5	25	-	-
20	4/C x 2.5, G – 2.5	25	-	-
25	4/C x 2.5, G – 2.5	25	-	-
32	4/C x 4, G – 4	32	-	-
40	4/C x 6, G – 4	40	-	-
50	4/C x 10, G – 6	50	-	-
63	4/C x 16, G – 6	65	-	-
80	4/C x 25, G – 10	65	-	-
100	4/C x 35, G – 10	80	-	-
125	4/C x 50, G – 16	80	-	-
160	4/C x 70, G – 16	90	-	-
200	4/C x 90, G – 16	100	-	-
250	4/C x 150, G – 25	125	-	-
320	4/C x 240, G – 25	150	-	-
400	2 (4/C x 150, G – 25)	2 x 125	-	-
500	2 (4/C x 185, G – 35)	2 x 125	-	-
630	3 (4/C x 185, G – 50)	3 x 125	4 (4/C x 120, G – 50)	4 x 100
800	3 (4/C x 240, G – 50)	3 x 150	4 (4/C x 185, G – 50)	4 x 125
1000	4 (4/C x 240, G – 70)	4 x 150	-	-

ตาราง E - 10

วงจร 1 เฟส, 2 สาย สาย XLPE แกนเดียว ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

CB (A)	สาย XLPE แกนเดียว	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	2 x 2.5, G – 2.5	20
20	2 x 2.5, G – 2.5	20
25	2 x 2.5, G – 2.5	20
32	2 x 4, G – 4	25
40	2 x 6, G – 4	25
50	2 x 10, G – 6	25
63	2 x 10, G – 6	25
80	2 x 16, G – 10	32
100	2 x 25, G – 10	32
125	2 x 35, G – 16	40
160	2 x 50, G – 16	40
200	2 x 70, G – 16	50

ตาราง E - 11

วงจร 3 เฟส, 4 สาย สาย XLPE แกนเดียว ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

CB (A)	Full Neutral		Half Neutral	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	4 x 2.5, G – 2.5	25	-	-
20	4 x 2.5, G – 2.5	25	-	-
25	4 x 4, G – 4	32	-	-
32	4 x 4, G – 4	32	-	-
40	4 x 6, G – 4	32	-	-
50	4 x 10, G – 6	32	-	-
63	4 x 16, G – 6	40	-	-
80	4 x 25, G – 10	40	-	-
100	4 x 25, G – 10	40	-	-
125	4 x 35, G – 16	50	-	-
160	4 x 70, G – 16	65	-	-
200	4 x 70, G – 16	65	-	-
250	4 x 120, G – 25	65	3 x 120, 1 x 70, G – 25	65
320	4 x 185, G – 25	80	3 x 185, 1 x 95, G – 25	80
400	4 x 240, G – 25	90	3 x 240, 1 x 120, G – 25	90
500	-	-	2 (3 x 120, 1 x 70, G – 35)	2 x 65
630	-	-	2 (3 x 185, 1 x 95, G – 50)	2 x 80
800	-	-	2 (3 x 240, 1 x 120, G – 50)	2 x 90
1000	-	-	3 (3 x 185, 1 x 95, G – 70)	3 x 80

ตาราง E - 12

วงจร 1 เฟส, 2 สาย สาย XLPE แกนเดียว ร้อยท่องฝังดิน การติดตั้งกลุ่มที่ 5

CB (A)	สาย XLPE แกนเดียว	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	2 x 2.5, G – 2.5	20
20	2 x 2.5, G – 2.5	20
25	2 x 2.5, G – 2.5	25
32	2 x 2.5, G – 2.5	25
40	2 x 4, G – 4	25
50	2 x 6, G – 6	25
63	2 x 10, G – 6	25
80	2 x 16, G – 10	32
100	2 x 25, G – 10	32
125	2 x 35, G – 16	40
160	2 x 50, G – 16	40
200	2 x 70, G – 16	50

ตาราง E - 13

วงจร 3 เฟส, 4 สาย สาย XLPE แกนเดียว ร้อยท่อฝังดิน การติดตั้งกลุ่มที่ 5

CB (A)	Full Neutral		Half Neutral	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	4 x 2.5, G – 2.5	25	-	-
20	4 x 2.5, G – 2.5	25	-	-
25	4 x 2.5, G – 4	32	-	-
32	4 x 4, G – 4	32	-	-
40	4 x 6, G – 4	32	-	-
50	4 x 10, G – 6	32	-	-
63	4 x 10, G – 6	32	-	-
80	4 x 16, G – 10	40	-	-
100	4 x 25, G – 10	50	-	-
125	4 x 35, G – 16	50	-	-
160	4 x 70, G – 16	65	-	-
200	4 x 95, G – 16	65	-	-
250	4 x 120, G – 25	80	3 x 120, 1 x 70, G – 25	80
320	-	-	3 x 185, 1 x 95, G – 25	80
400	-	-	3 x 240, 1 x 120, G – 25	90
500	-	-	2 (3 x 150, 1 x 95, G – 35)	2 x 80
630	-	-	2 (3 x 240, 1 x 120, G – 50)	2 x 90
800	-	-	2 (3 x 300, 1 x 150 , G – 50)	2 x 100
1000	-	-	3 (3 x 300, 1 x 150, G – 70)	3 x 100

ตาราง E - 14

วงจร 1 เฟส, 2 สาย สาย XLPE หลายแกน ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

CB (A)	สาย XLPE หลายแกน	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	2/C x 2.5, G – 2.5	25
20	2/C x 2.5, G – 2.5	25
25	2/C x 2.5, G – 2.5	25
32	2/C x 4, G – 4	25
40	2/C x 6, G – 4	32
50	2/C x 10, G – 6	32
63	2/C x 10, G – 6	32
80	2/C x 16, G – 10	40
100	2/C x 25, G – 10	40
125	2/C x 35, G – 16	50
160	2/C x 70, G – 16	65
200	2/C x 70, G – 16	65

ตาราง E - 15

วงจร 3 เฟส, 4 สาย สาย XLPE หลายแกน ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

CB (A)	Full Neutral		Half Neutral	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	4/C x 2.5, G – 2.5	25	-	-
20	4/C x 2.5, G – 2.5	25	-	-
25	4/C x 4, G – 4	32	-	-
32	4/C x 4, G – 4	32	-	-
40	4/C x 6, G – 4	32	-	-
50	4/C x 10, G – 6	40	-	-
63	4/C x 16, G – 6	40	-	-
80	4/C x 25, G – 10	50	-	-
100	4/C x 35, G – 10	50	-	-
125	4/C x 50, G – 16	65	-	-
160	4/C x 70, G – 16	65	-	-
200	4/C x 95, G – 16	80	-	-
250	4/C x 150, G – 25	90	-	-
320	4/C x 240, G – 25	125	-	-
400	4/C x 300, G – 25	125	2 (4/C x 95, G – 25)	2 x 80
500	2 (4/C x 150, G – 35)	2 x 90	3 (4/C x 70, G – 35)	3 x 65
630	2 (4/C x 240, G – 50)	2 x 125	3 (4/C x 95, G – 50)	3 x 80
800	2 (4/C x 300, G – 50)	2 x 125	3 (4/C x 150, G – 50)	3 x 100
1000	3 (4/C x 240, G – 70)	3 x 125	4 (4/C x 150, G – 70)	4 x 100

ตาราง E - 16

วงจร 1 เฟส, 2 สาย สาย XLPE หลายแกน ร้อยท่อฝังดิน การติดตั้งกลุ่มที่ 5

CB (A)	สาย XLPE หลายแกน	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	2/C x 2.5, G – 2.5	25
20	2/C x 2.5, G – 2.5	25
25	2/C x 2.5, G – 2.5	25
32	2/C x 2.5 , G – 2.5	25
40	2/C x 4, G – 4	25
50	2/C x 6 , G – 6	32
63	2/C x 10, G – 6	32
80	2/C x 16, G – 10	40
100	2/C x 25, G – 10	40
125	2/C x 35, G – 16	50
160	2/C x 50, G – 16	50
200	2/C x 70, G – 16	65

ตาราง E - 17

วงจร 3 เฟส, 4 สาย สาย XLPE หลายแกน ร้อยท่อฝังดิน การติดตั้งกลุ่มที่ 5

CB (A)	Full Neutral		Half Neutral	
	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
16	4/C x 2.5, G – 2.5	25	-	-
20	4/C x 2.5, G – 2.5	25	-	-
25	4/C x 2.5, G – 2.5	25	-	-
32	4/C x 4, G – 4	32	-	-
40	4/C x 6, G – 4	40	-	-
50	4/C x 10, G – 6	50	-	-
63	4/C x 10, G – 6	50	-	-
80	4/C x 16, G – 10	65	-	-
100	4/C x 25, G – 10	80	-	-
125	4/C x 35, G – 16	80	-	-
160	4/C x 70, G – 16	90	-	-
200	4/C x 95, G – 16	100	-	-
250	4/C x 120, G – 25	125	-	-
320	4/C x 185, G – 25	125	-	-
400	4/C x 240, G – 25)	150	-	-
500	2 (4/C x 150, G – 35)	2 x 125	3 (4/C x 95, G – 35)	3 x 100
630	2 (4/C x 240, G – 50)	3 x 150	3 (4/C x 150, G – 50)	3 x 125
800	3 (4/C x 185, G – 50)	3 x 125	4 (4/C x 150, G – 50)	4 x 125
1000	4 (4/C x 240, G – 70)	4 x 150	5 (4/C x 150, G – 70)	5 x 125

ภาคผนวก F
ขนาดสายไฟฟ้าตามขนาด CB บนรางเคเบิล Cable Trays

หลักการและข้อกำหนด

- พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า AT ของ CB
- พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าบนรางเคเบิล Cable Trays การติดตั้งกลุ่มที่ 7

  สาย PVC ตารางที่ 5 - 30

  สาย XLPE ตารางที่ 5 - 32
- ตัวคูณปรับค่า ตารางที่ 5 - 40
- ขนาด Tray W $\geq 1.25 \sum D$
- การที่ผู้เขียนทำตาราง Half Neutral ให้นั้นเพราะต้องการประหยัดเนื่องจาก วงจรจริงขนาดใหญ่นั้น จะต้องออกแบบให้ Balanced กระแสที่ไหลใน Neutral จะน้อยมาก ทำให้สามารถใช้ Neutral ขนาดเล็กลงได้ และมาตรฐานก็อนุญาตให้ใช้ได้ แต่ถ้าผู้ใช้งานอยากใช้แบบ Full Neutral คือขนาดสาย Neutral เท่ากับสาย Phase ก็สามารถทำได้เลย และขนาดรางเคเบิลยังใช้ขนาดเท่าเดิมได้เพราะได้เผื่อไว้แล้ว

ตัวอย่างที่ F.1

สายป้อน, 3 ph, 4 w 230 / 400 V CB 500 A ใช้ XLPE แกนเดียว เดินบนรางเคเบิล (Cable Trays) แบบระบายอากาศให้หาขนาดสาย

วิธีทำ

CB 500 A ตารางที่ 4 - 2 สายดิน G - 35 mm²

การติดตั้งกลุ่มที่ 7 ตารางที่ 5 - 32

สาย XLPE, 240 mm² I = 577 A

3 x 240, 1 x 120 mm² G - 35 mm² **ตาราง F - 4**

ตัวอย่างที่ F.2

สายป้อน, 3 ph, 4 w 230 / 400 V CB 1000 A ใช้ XLPE แกนเดียว เดินบนรางเคเบิล (Cable Trays) แบบบันไดให้หาขนาดสาย และขนาด Tray ใช้ควบ 2

วิธีทำ

CB 1000 A ตารางที่ 4 - 2 สายดิน G - 70 mm²

การติดตั้งกลุ่มที่ 7 ตารางที่ 5 - 32

ควบ 2 Cable Trays แบบบันได ตารางที่ 5 - 40

C_g = 0.97

I_c = 1000 / (2 x 0.97) = 516 A

2 (3 x 240, 1 x 120 mm² G - 70 mm²) 577 A

ขนาด Tray W $\geq 1.25 \sum D$

= 1.25 x 2 (3 x 26.5 + 19.5 + 15.5)

= 286 mm

= 300 mm **ตาราง F – 5**

ตัวอย่างที่ F.3

สายป้อน, 3 ph, 4 w 230 / 400 V CB 500 A ใช้ NYY แกนเดียวเดินบนรางเคเบิล (Cable Trays) แบบล่างทึบไม่มีฝาปิดให้หาขนาดสาย ใช้ควบ 2 และ 3 ชุด

วิธีทำ

CB 500 A ตารางที่ 4 - 2 สายดิน G - 35 mm²
การติดตั้งกลุ่มที่ 7 NYY แกนเดียว
ควบ 2 รางเคเบิล Cable Trays แบบล่างทึบไม่มีฝาปิด
ตารางที่ 5 - 41 Cg = 0.84
I_c = 500 / (2 x 0.84) = 298 A
ตารางที่ 5 - 31
2 (3 x 150, 1 x 95 mm² G - 35 mm²) 304 A
ควบ 3 รางเคเบิล (Cable Trays) แบบล่างทึบไม่มีฝาปิด
ตารางที่ 5 - 41 Cg = 0.78
I_c = 500 / (3 x 0.78) = 214 A
ตารางที่ 5 - 31
3 (3 x 95, 1 x 50 mm² G - 35 mm²) 227 A **ตาราง F - 3**

ตาราง F - 1

ขนาดสาย NYY แกนเดียวตาม CB บนรางเคเบิลระบายอากาศ

CB (A)	ขนาดสายไฟฟ้า (mm^2)	ขนาดรางเคเบิล (mm)
100	4 x 35, G – 10	100
125	4 x 50, G – 16	100
160	4 x 70, G – 16	100
200	4 x 95, G – 16	100
250	4 x 120, G – 25 3 x 120, 1 x 70, G – 25	200 200
320	4 x 150, G – 25 3 x 150, 1 x 95 G – 25	200 200
400	4 x 240, G – 25 3 x 240, 1 x 120, G – 25	200 200
500	3 x 300, 1 x 150, G – 35 2 (3 x 120, 1 x 70, G – 35)	200 300
630	2 (3 x 185, 1 x 95, G – 50) 3 (3 x 120, 1 x 70, G – 50)	300 400
800	2 (3 x 240, 1 x 120, G – 50) 3 (3 x 150, 1 x 95, G – 50)	300 400
1000	3 (3 x 240, 1 x 120, G – 70) 4 (3 x 150, 1 x 95, G – 70)	500 500

ตาราง F - 2

ขนาดสาย NYYแกนเดียวตาม CB บนรางเคเบิลบันได

CB (A)	ขนาดสายไฟฟ้า (mm$^{2)}$	ขนาดรางเคเบิล (mm)
100	4 x 35, G – 10	200
125	4 x 50, G – 16	200
160	4 x 70, G – 16	200
200	4 x 95, G – 16	200
250	4 x 120, G – 25 3 x 120, 1 x 70, G – 25	200 200
320	4 x 150, G – 25 3 x 150, 1 x 95 G – 25	200 200
400	4 x 240, G – 25 3 x 240, 1 x 120, G – 25	200 200
500	3 x 300, 1 x 150, G – 35 2 (3 x 120, 1 x 70, G – 35)	200 300
630	2 (3 x 185, 1 x 95, G – 50) 3 (3 x 95, 1 x 50, G – 50)	300 300
800	2 (3 x 240, 1 x 120, G – 50) 3 (3 x 120, 1 x 70, G – 50)	300 400
1000	3 (3 x 185, 1 x 95, G – 70) 4 (3 x 120, 1 x 70, G – 70)	400 500

ตาราง F - 3

ขนาดสาย NYY แกนเดียวตาม CB บนรางเคเบิลล่างทึบไม่มีฝาปิด

CB (A)	ขนาดสายไฟฟ้า (mm^2)	ขนาดรางเคเบิล (mm)
100	4 x 35, G – 10	100
125	4 x 50, G – 16	100
160	4 x 70, G – 16	100
200	4 x 95, G – 16	100
250	4 x 120, G – 25 3 x 120, 1 x 70, G – 25	200 200
320	4 x 185, G – 25 3 x 185, 1 x 95 G – 25	200 200
400	4 x 300, G – 25 3 x 300, 1 x 150, G – 25	200 200
500	2 (3 x 150, 1 x 95, G – 35) 3 (3 x 95, 1 x 50, G – 35)	300 300
630	2 (3 x 240, 1 x 120, G – 50) 3 (3 x 150, 1 x 95, G – 50)	300 400
800	3 (3 x 185, 1 x 95, G – 50) 4 (3 x 150, 1 x 95, G – 50)	400 400
1000	3 (3 x 300, 1 x 150, G – 70) 4 (3 x 185, 1 x 95, G – 70)	500 500

ตาราง F - 4

ขนาดสาย XLPE แกนเดียวตาม CB บนรางเคเบิลระบายอากาศ

CB (A)	ขนาดสายไฟฟ้า (mm^2)	ขนาดรางเคเบิล (mm)
100	4 x 25, G – 10	100
125	4 x 25, G – 16	100
160	4 x 35, G – 16	100
200	4 x 70, G – 16	100
250	4 x 70, G – 25 3 x 70, 1 x 50, G – 25	100 100
320	4 x 120, G – 25 3 x 120, 1 x 70, G – 25	100 100
400	4 x 150, G – 25 3 x 150, 1 x 95, G – 25	100 100
500	3 x 240, 1 x 120, G – 35 2 (3 x 95, 1 x 50, G – 35)	200 200
630	3 (3 x 300, 1 x 150, G – 50) 2 (3 x 120, 1 x 70, G – 50)	200 200
800	2 (3 x 185, 1 x 95, G – 50) 3 (3 x 95, 1 x 50, G – 50)	300 300
1000	2 (3 x 240, 1 x 120, G – 70) 3 (3 x 150, 1 x 95, G – 70)	300 300

ตาราง F - 5

ขนาดสาย XLPE แกนเดียวตาม CB บนรางเคเบิลบันได

CB (A)	ขนาดสายไฟฟ้า (mm^2)	ขนาดรางเคเบิล (mm)
100	4 x 25, G – 10	100
125	4 x 25, G – 16	100
160	4 x 35, G – 16	100
200	4 x 70, G – 16	100
250	4 x 70, G – 25 3 x 70, 1 x 50, G – 25	100 100
320	4 x 120, G – 25 3 x 120, 1 x 70, G – 25	100 100
400	4 x 150, G – 25 3 x 150, 1 x 95, G – 25	100 100
500	3 x 240, 1 x 120, G – 35 2 (3 x 95, 1 x 50, G – 35)	200 200
630	3 (3 x 300, 1 x 150, G – 50) 2 (3 x 120, 1 x 70, G – 50)	200 200
800	2 (3 x 150, 1 x 95, G – 50) 3 (3 x 95, 1 x 50, G – 50)	200 300
1000	2 (3 x 240, 1 x 120, G – 70) 3 (3 x 120, 1 x 70, G – 70)	300 300

ตาราง F - 6

ขนาดสาย XLPE แกนเดียวตาม CB บนรางเคเบิลล่างทึบไม่มีฝาปิด

CB (A)	ขนาดสายไฟฟ้า (mm^2)	ขนาดรางเคเบิล (mm)
100	4 x 25, G – 10	100
125	4 x 35, G – 16	100
160	4 x 50, G – 16	100
200	4 x 70, G – 16	100
250	4 x 95, G – 25 3 x 95, 1 x 50, G – 25	100 100
320	4 x 120, G – 25 3 x 120, 1 x 70, G – 25	100 100
400	4 x 185, G – 25 3 x 185, 1 x 95, G – 25	200 200
500	4 x 240, G – 35 3 x 240, 1 x 120, G – 35	200 200
630	2 (3 x 150, 1 x 95, G – 50) 3 (3 x 95, 1 x 50, G – 50)	200 200
800	2 (3 x 240, 1 x 120, G – 50) 3 (3 x 120, 1 x 70, G – 50)	300 300
1000	2 (3 x 300, 1 x 150, G – 70) 3 (3 x 185, 1 x 95, G – 70)	300 300

ภาคผนวก G

สายเมนหม้อแปลง LV 230 / 400 V, 240 / 416 V

หลักการและข้อกำหนด

- สายเมนทางด้าน LV ของหม้อแปลงเป็นสายประธานที่สำคัญที่สุดและใหญ่ที่สุดเนื่องจากกระแสสูงมาก การเดินสายเมนหม้อแปลงจึงนิยมทำใน

    1) รางเคเบิล การติดตั้งกลุ่มที่ 7

    2) ท่อร้อยสาย การติดตั้งกลุ่มที่ 2, 5

- ตาม ข้อ 6.4.3 การป้องกันกระแสเกินหม้อแปลง ที่มี % U ไม่เกิน 6 % ขนาดปรับตั้งของ CB ต้องไม่เกิน 125 % กระแสพิกัดหม้อแปลง ตามข้อ 9.1.10 ตัวนำประธานแรงต่ำของหม้อแปลงตัวนำประธานแรงต่ำของหม้อแปลง ต้องมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่าเครื่องป้องกันกระแสเกิน

- ขนาดสายเมนในที่นี้ให้คิดไม่น้อยกว่า 125 % ของกระแสพิกัดหม้อแปลง

- ขนาดสาย Neutral ให้ทำตาม ข้อ 3.4

- สำหรับตารางขนาดสาย Neutral ให้คิดไม่น้อยกว่า 50 % ของสาย Phase แต่ถ้าผู้ใช้งานอยากใช้แบบ Full Neutral คือขนาดสาย Neutral เท่ากับ สาย Phase ก็สามารถทำได้เลย ขนาดรางเคเบิล ท่อร้อยสาย ยังใช้ขนาดเท่าเดิมเพราะได้เผื่อไว้แล้ว

- ขนาด Tray $W \geq 1.25 \sum D$

ตัวอย่างที่ G.1

สายเมนแรงต่ำจากหม้อแปลงเดินบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ
หม้อแปลง 1000 kVA, 22 kV / 230 - 400 V
Ambient Temperature 40 °C
ใช้สาย XLPE แกนเดียว 0.6 / 1 kV
ใช้สายควบ 4 ชุดวางชิดกันในแนวนอน

วิธีทำ

หม้อแปลง 1000 kVA, 230 / 400 V

I_n = (1000 x 1000) / (1.732 x 400)
= 1443 A

ขนาดสายหม้อแปลงคิด 125 % กระแสพิกัด

I_b = 1.25 x 1443
= 1804 A

การติดตั้ง รางเคเบิลระบายอากาศ
ใช้สาย XLPE แกนเดียว 0.6 / 1 kV ควบ 4 ชุด
เลือกลักษณะการติดตั้ง กลุ่มที่ 7
เดินบนรางเคเบิลวางชิดกันในแนวนอน

หาตัวคูณปรับค่า
Ambient Temperature 40 °C ตารางที่ 5 - 43
สาย XLPE C_a = 1.00
สายควบ ตารางที่ 5 - 40 ควบ 4 ชุด C_g = 0.82

I_t = 1804 / (4 x 0.82) = 550 A

4 (3 x 240, 1 x 120 mm²) (577 A) **ตาราง G - 3**

ตัวอย่างที่ G.2

สายเมนแรงต่ำจากหม้อแปลงเดินบนรางเคเบิลแบบบันได
หม้อแปลง 2000 kVA, 22 kV / 230 - 400 V
Ambient Temperature 40 °C
ใช้สาย XLPE แกนเดียว 0.6 / 1 kV
ใช้สายควบ 9 ชุด 2 ชั้น วางชิดกันในแนวนอน

วิธีทำ

หม้อแปลง 2000 kVA, 230 / 400 V

I_n = (2000 x 1000) / (1.732 x 400)
= 2886 A

ขนาดสายหม้อแปลงคิด 125 % กระแสพิกัด

I_b = 1.25 x 2886
= 3608 A

การติดตั้ง รางเคเบิล แบบบันได 9 ชุด 2 ชั้น 5 ชุด และ 4 ชุด
ใช้สาย XLPE แกนเดียว 0.6 / 1 kV ควบ 9 ชุด
เลือกลักษณะการติดตั้ง กลุ่มที่ 7
เดินบนรางเคเบิลวางชิดกันในแนวนอน

หาตัวคูณปรับค่า
Ambient Temperature 40 °C ตารางที่ 5 - 43
สาย XLPE C_a = 1.00
สายควบ 9 ชุด 2 ชั้น 2 ชั้น 5 ชุด ตารางที่ 5 - 40 C_g = 0.86

I_t = 3608 / (9 x 0.86) = 466 A

9 (3 x 185, 1 x 95 mm²) (485 A) **ตาราง G - 4**

ตัวอย่างที่ G.3

หม้อแปลง 500 kVA, 22 kV / 230 – 400V
ให้หาสายเมนแรงต่ำจากหม้อแปลงการติดตั้ง กลุ่มที่ 2 และ 5
ใช้สาย XLPE แกนเดียว 0.6 / 1 kV ใช้สายควบ 3 ชุด

วิธีทำ

หม้อแปลง 500 kVA, 230 / 400 V

I_n = (500 x 1000) / (1.732 x 400)
= 722 A

ขนาดสายหม้อแปลงคิด 125 % กระแสพิกัด

I_b = 1.25 x 722
= 903 A

การติดตั้ง กลุ่มที่ 2 ใช้สาย XLPE แกนเดียว 0.6 / 1 kV ใช้สายควบ 3 ชุด

I_t = 903 / 3 = 301 A

ตารางที่ 5 - 27
3 (3 x 150, 1 x 95 mm^2) (311 A)

การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ใช้สาย XLPE แกนเดียว 0.6 / 1 kV ใช้สายควบ 3 ชุด
การติดตั้งกลุ่มที่ 5 เมื่อมีท่อสายตั้งแต่ 2 ท่อขึ้นไป**ต้องมีตัวคูณปรับค่า**

ท่อวางชิดกัน ตารางที่ 5 - 46 C_g = 0.75

I_t = 903 / (3 x 0.75) = 401 A

ตารางที่ 5 - 29

3 (3 x 240, 1 x 120 mm^2) (418 A)

ท่อวางห่างกัน 250 mm ตารางที่ 5 - 46 C_g = 0.85

I_t = 903 / (3 x 0.85) = 354 A

ตารางที่ 5 - 29

3 (3 x 185, 1 x 95 mm^2) (356 A)

ตาราง G – 1 TR LV 230 / 400 V

สาย NYY บนรางเคเบิลระบายอากาศ

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n $(1.25I_n)$ (A)	ขนาดสาย (mm²)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	455 (569)	2 (3x150, 1 x 95) 3 (3x95, 1 x 50)	300 400
400	577 (721)	2 (3x240, 1 x 120) 3 (3x120, 1 x 70) 4 (3x95, 1 x 50)	400 400 500
500	722 (903)	2 (3x300, 1 x 150) 3 (3x185, 1 x 95) 4 (3x120, 1 x 70)	400 500 500
630	909 (1136)	3 (3x240, 1 x 120) 4 (3x185, 1 x 95) 5 (3x150, 1 x 95)	500 600 700
800	1155 (1444)	4 (3x240, 1 x 120) 5 (3x240, 1 x 120) 6 (3x150, 1 x 95)	700 800 800
1000	1443 (1804)	5 (3x300, 1 x 150) 6 (3x240, 1 x 120) 7 (3x185, 1 x 95)	900 900 1000
1250	1804 (2255)	6 (3x300, 1 x 150) 7 (3x240, 1 x 120) 8 (3x185, 1 x 95)	(2 x 500) (2 x 600) (2 x 600)
1600	2309 (2886)	8 (3x300, 1 x 150) 9 (3x240, 1 x 120)	(2 x 700) (2 x 800)
2000	2887 (3609)	8 (3x400, 1 x 240)	(2 x 800)

ตาราง G – 2 TR LV 230 / 400 V

สาย NYY บนรางเคเบิลบันได

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	455 (569)	2 (3 x 150, 1 x 95) 3 (3 x 95, 1 x 50)	300 400
400	577 (721)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 120, 1 x 70)	300 400
500	722 (903)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 70)	400 400 500
630	909 (1136)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	500 500 600
800	1155 (1444)	3 (3 x 300, 1 x 150) 4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 150, 1 x 95)	500 600 700
1000	1443 (1804)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 150, 1 x 95)	700 800 800
1250	1804 (2255)	5 (3 x 300, 1 x 150) 6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 185, 1 x 95)	900 900 1000
1600	2309 (2886)	6 (3 x 400, 1 x 240) 7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120)	(2 x 600) (2 x 700) (2 x 600)
2000	2887 (3609)	7 (3 x 400, 1 x 240) 9 (3 x 300, 1 x 150)	(2 x 800) (2 x 900)

ตาราง G – 3 TR LV 230 / 400 V

สาย NYY บนรางเคเบิลด้านล่างทึบไม่มีฝาปิด

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n (1.25I_n) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	455 (569)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 120, 1 x 70) 4 (3 x 95, 1 x 50)	300 400 500
400	577 (721)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 70)	400 400 500
500	722 (903)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	500 500 600
630	909 (1136)	4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 185, 1 x 95) 6 (3 x 150, 1 x 95)	600 700 800
800	1155 (1444)	5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 185, 1 x 95) 7 (3 x 150, 1 x 95)	800 800 900
1000	1443 (1804)	6 (3 x 240, 1 x 120) 8 (3 x 185, 1 x 95) 9 (3 x 150, 1 x 95)	(2 x 500) (2 x 600) (2 x 700)
1250	1804 (2255)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120)	(2 x 700) (2 x 600)
1600	2309 (2886)	8 (3 x 400, 1 x 240) 9 (3 x 300, 1 x 150)	(2 x 800) (2 x 900)
2000	2887 (3609)	10 (3 x 400, 1 x 240) 12 (3 x 300, 1 x 150)	(2 x 800) (2 x 900)

ตาราง G – 4 TR LV 230 / 400 V

สาย NYY ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
315	455 (569)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 120, 1 x 70)	2 x 125 3 x 90
400	577 (721)	3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	3 x 100 4 x 80
500	722 (903)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	3 x 125 4 x 100 5 x 90
630	909 (1136)	4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 150, 1 x 95) 6 (3 x 120, 1 x 70)	4 x 125 5 x 100 6 x 90
800	1155 (1444)	5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 185, 1 x 95)	5 x 125 6 x 100
1000	1443 (1804)	6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 185, 1 x 95)	6 x 125 7 x 100
1250	1804 (2255)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120)	7 x 125 8 x 125
1600	2309 (2886)	9 (3 x 300, 1 x 150) 10 (3 x 240, 1 x 120)	9 x 125 10 x 125
2000	2887 (3609)	10 (3 x 300, 1 x 150)	10 x 125

ตาราง G – 5 TR LV 230 / 400 V

สาย NYY ร้อยท่อฝังดิน ห่าง 250 mm. การติดตั้งกลุ่มที่ 5

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n (1.25I_n) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ขนาดท่อ (mm)
315	455 (569)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 120, 1 x 70)	2 x 100 3 x 80
400	577 (721)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 70)	2 x 125 3 x 90 4 x 80
500	722 (903)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	3 x 100 4 x 90 5 x 80
630	909 (1136)	4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 185, 1 x 95) 6 (3 x 150, 1 x 95)	4 x 100 5 x 90 6 x 90
800	1155 (1444)	5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 185, 1 x 95) 7 (3 x 150, 1 x 95)	5 x 100 6 x 90 7 x 90
1000	1443 (1804)	6 (3 x 300, 1 x 150) 7 (3 x 240, 1 x 120) 8 (3 x 185, 1 x 95)	6 x 125 7 x 100 8 x 90
1250	1804 (2255)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120) 10 (3 x 185, 1 x 95)	7 x 125 8 x 100 10 x 90
1600	2309 (2886)	9 (3 x 300, 1 x 150) 10 (3 x 240, 1 x 120)	9 x 125 10 x 100
2000	2887 (3609)	9 (3 x 500, 1 x 300) 10 (3 x 400, 1 x 240)	9 x 150 10 x 125

ตาราง G – 6 TR LV 230 / 400 V

สาย XLPE บนรางเคเบิลระบายอากาศ

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n (1.25I_n) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	455 (569)	2 (3 x 120, 1 x 70)	200
400	577 (721)	2 (3 x 150, 1 x 95) 3 (3 x 95, 1 x 50)	300 300
500	722 (903)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 120, 1 x 70) 4 (3 x 95, 1 x 50)	300 300 400
630	909 (1136)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 70)	300 400 400
800	1155 (1444)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 150, 1 x 95)	400 500 600
1000	1443 (1804)	4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 185, 1 x 95) 6 (3 x 150, 1 x 95)	500 600 700
1250	1804 (2255)	5 (3 x 300, 1 x 150) 6 (3 x 185, 1 x 95) 7 (3 x 150, 1 x 95)	700 700 800
1600	2309 (2886)	6 (3 x 300, 1 x 150) 7 (3 x 240, 1 x 120) 8 (3 x 185, 1 x 95)	900 900 900
2000	2887 (3609)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 300, 1 x 150) 9 (3 x 240, 1 x 120)	1000 (2 x 600) (2 x 700)

ตาราง G – 7 TR LV 230 / 400 V

สาย XLPE บนรางเคเบิลบันได

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n (1.25I_n) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	455(569)	2 (3 x 95, 1 x 50)	200
400	577 (721)	2 (3 x 150, 1 x 95)	300
500	722 (903)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 120, 1 x 70)	300 300
630	909 (1136)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	300 400 400
800	1155 (1444)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	400 500 500
1000	1443 (1804)	3 (3 x 300, 1 x 150) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 150, 1 x 95)	500 500 600
1250	1804 (2255)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 150, 1 x 95)	600 700 700
1600	2309 (2886)	5 (3 x 300, 1 x 150) 6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 185, 1 x 95)	700 800 800
2000	2887 (3609)	6 (3 x 300, 1 x 150) 7 (3 x 240, 1 x 120) 9 (3 x 185, 1 x 95)	900 900 (2x600)

ตาราง G – 8 TR LV 230 / 400 V

สายXLPEบนรางเคเบิลด้านล่างทึบไม่มีฝาปิด

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n $(1.25I_n)$ (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	455 (569)	2 (3 x 120, 1 x 70)	200
400	577 (721)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 120, 1 x 70)	300 300
500	722 (903)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 70)	300 400 400
630	909 (1136)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	400 500 500
800	1155 (1444)	3 (3 x 300, 1 x 150) 4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 185, 1 x 95)	500 500 600
1000	1443 (1804)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 185, 1 x 95)	600 700 700
1250	1804 (2255)	6 (3 x 240, 1 x 120) 8 (3 x 185, 1 x 95) 9 (3 x 150, 1 x 95)	800 900 1000
1600	2309 (2886)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120)	(2 x 600) (2 x 500)
2000	2887 (3609)	9 (3 x 300, 1 x 150) 10 (3 x 240, 1 x 120)	(2 x 700) (2 x 700)

ตาราง G – 9 TR LV 230 / 400 V

สาย XLPE ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	**กระแสพิกัด I_n (1.25I_n) (A)**	**ขนาดสาย (mm²)**	**ขนาดท่อ (mm)**
315	455 (569)	2 (3 x 150, 1 x 95) 3 (3 x 70, 1 x 50)	2 x 80 3 x 50
400	577 (721)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 95, 1 x 50) 4 (3 x 70, 1 x 50)	2 x 90 3 x 65 4 x 50
500	722 (903)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	2 x 100 3 x 80 4 x 65
630	909 (1136)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 120, 1 x 70) 5 (3 x 95, 1 x 50)	3 x 90 4 x 65 5 x 65
800	1155 (1444)	4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 150, 1 x 95)	4 x 90 5 x 80
1000	1443 (1804)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 150, 1 x 95)	4 x 100 5 x 90 6 x 80
1250	1804 (2255)	5 (3 x 300, 1 x 150) 6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 185, 1 x 95)	5 x 100 6 x 90 7 x 80
1600	2309 (2886)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8(3 x 240, 1 x 120)	7 x 100 8 x 90
2000	2887 (3609)	8(3 x 300, 1 x 150) 9 (3 x 240, 1 x 120)	8 x 100 9 x 90

ตาราง G – 10 TR LV 230 / 400 V

สาย XLPE ร้อยท่อฝังดิน ห่าง 250 mm การติดตั้งกลุ่มที่ 5

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm)
315	455 (569)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 95, 1 x 50)	2 x 80 3 x 65
400	577 (721)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	2 x 90 3 x 80 4 x 65
500	722 (903)	3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 95, 1 x 50)	3 x 80 4 x 80 5 x 65
630	909 (1136)	3 (3 x 300, 1 x 150) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 150, 1 x 95)	3 x 100 4 x 80 5 x 80
800	1155 (1444)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 150, 1 x 95)	4 x 100 5 x 90 6 x 80
1000	1443 (1804)	5 (3 x 300, 1 x 150) 6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 185, 1 x 95)	5 x 100 6 x 90 7 x 80
1250	1804 (2255)	6 (3 x 300, 1 x 150) 7 (3 x 240, 1 x 120) 8 (3 x 185, 1 x 95)	6 x 100 7 x 90 8 x 80
1600	2309 (2886)	8 (3 x 300, 1 x 150) 9 (3 x 240, 1 x 120)	8 x 100 9 x 90
2000	2887 (3609)	10 (3 x 300, 1 x 150) 11 (3 x 240, 1 x 120)	10 x 100 11 x 90

ตาราง G – 11 TR LV 240 / 416 V

สาย NYY บนรางเคเบิลระบายอากาศ

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n (1.25I_n) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 150, 1 x 95) 3 (3 x 95, 1 x 50)	300 400
400	555 (694)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 120, 1 x 70) 4 (3 x 95, 1 x 50)	400 400 500
500	694 (868)	3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 70) 5 (3 x 95, 1 x 50)	500 500 600
630	874 (1093)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 150, 1 x 95)	500 600 700
800	1110 (1388)	4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 185, 1 x 95) 6 (3 x 150, 1 x 95)	7 00 700 800
1000	1388 (1735)	5 (3 x 300, 1 x 150) 6 (3 x 185, 1 x 95) 7 (3 x 150, 1 x 95)	900 800 900
1250	1735 (2169)	6 (3 x 300, 1 x 150) 7 (3 x 240, 1 x 120) 8 (3 x 185, 1 x 95)	(2x500) (2x600) (2x600)
1600	2221 (2776)	7 (3 x 300, 1 x 150) 9 (3 x 240, 1 x 120)	(2x700) (2x800)
2000	2776 (3470)	8 (3 x 400, 1 x 240)	(2x800)

ตาราง G – 12 TR LV 240 / 416 V

สาย NYY บนรางเคเบิลบันได

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 150, 1 x 95)	300
400	555 (694)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 120, 1 x 70)	300 400
500	694 (868)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	400 400 500
630	874 (1093)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 95, 1 x 50)	500 500 600
800	1110 (1388)	3 (3 x 300, 1 x 150) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 150, 1 x 95)	500 600 700
1000	1388 (1735)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 150, 1 x 95)	700 800 800
1250	1735 (2169)	5 (3 x 300, 1 x 150) 6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 185, 1 x 95)	900 900 1000
1600	2221 (2776)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120) 9 (3 x 185, 1 x 95)	(2x700) (2x600) (2x700)
2000	2776 (3470)	7 (3 x 400, 1 x 240) 8 (3 x 300, 1 x 150)	(2x800) (2x700)

ตาราง G – 13 TR LV 240 / 416 V

สาย NYY บนรางเคเบิลด้านล่างทึบไม่มีฝาปิด

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 120, 1 x 70)	300 400
400	555 (694)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 70)	400 400 500
500	694 (868)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	500 500 600
630	874 (1093)	4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 185, 1 x 95) 6 (3 x 120, 1 x 70)	600 700 700
800	1110 (1388)	5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 185, 1 x 95) 7 (3 x 150, 1 x 95)	800 800 900
1000	1388 (1735)	6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 185, 1 x 95) 8 (3 x 150, 1 x 95)	(2x500) (2x600) (2x500)
1250	1735 (2169)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120)	(2x700) (2x600)
1600	2221 (2776)	8 (3 x 400, 1 x 240) 9 (3 x 300, 1 x 150)	(2x800) (2x900)
2000	2776 (3470)	10 (3 x 400, 1 x 240)	(2x900)

ตาราง G – 14 TR LV 240 / 416 V

สาย NYY ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ขนาดท่อ (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 120, 1 x 70)	2 x 125 3 x 90
400	555 (694)	3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	3 x 100 4 x 80
500	694 (868)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 95, 1 x 50)	3 x 125 4 x 100 5 x 80
630	874 (1093)	4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 150, 1 x 95) 6 (3 x 120, 1 x 70)	4 x 125 5 x 100 6 x 90
800	1110 (1388)	5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 185, 1 x 95)	5 x 125 6 x 100
1000	1388 (1735)	6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 185, 1 x 95)	6 x 125 7 x 100
1250	1735 (2169)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120)	7 x 125 8 x 125
1600	2221 (2776)	9 (3 x 300, 1 x 150) 10 (3 x 240, 1 x 120)	9 x 125 10 x 125
2000	2776 (3470)	10 (3 x 300, 1 x 150)	10 x 125

ตาราง G – 15 TR LV 240 / 416 V

สาย NYY ร้อยท่อฝังดิน ห่าง 250 mm การติดตั้งกลุ่มที่ 5

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ขนาดท่อ (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 120, 1 x 70)	2 x 100 3 x 90
400	555 (694)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 70)	2 x 125 3 x 100 4 x 90
500	694 (868)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	3 x 125 4 x 100 5 x 90
630	874 (1093)	4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 185, 1 x 95) 6 (3 x 120, 1 x 95)	4 x 125 5 x 100 6 x 90
800	1110 (1388)	4 (3 x 400, 1 x 240) 5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 185, 1 x 95)	4 x 125 5 x 125 6 x 100
1000	1388 (1735)	5 (3 x 400, 1 x 240) 6 (3 x 240, 1 x 120)	5 x 125 6 x 125
1250	1735 (2169)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120)	7 x 125 8 x 125
1600	2221 (2776)	8 (3 x 400, 1 x 240) 9(3 x 300, 1 x 150)	8 x 125 9 x 125
2000	2776 (3470)	10 (3 x 400, 1 x 240)	10 x 125

ตาราง G – 16 TR LV 240 / 416 V

สาย XLPE บนรางเคเบิลระบายอากาศ

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 95, 1 x 50)	200
400	555 (694)	2 (3 x 150, 1 x 95) 3 (3 x 95, 1 x 50)	300 300
500	694 (868)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 120, 1 x 70) 4 (3 x 95, 1 x 50)	300 300 400
630	874 (1093)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 70)	300 400 400
800	1110 (1388)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 75)	400 500 500
1000	1388 (1735)	3 (3 x 300, 1 x 150) 4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 185, 1 x 95)	500 500 600
1250	1735 (2169)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 185, 1 x 95)	600 700 700
1600	2221 (2776)	6 (3 x 300, 1 x 150) 7 (3 x 240, 1 x 120) 8 (3 x 185, 1 x 95)	900 900 900
2000	2776 (3470)	6 (3 x 400, 1 x 240) 7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120)	1000 1000 1000

ตาราง G – 17 TR LV 240 / 416 V

สายไฟฟ้า XLPE บนรางเคเบิล แบบบันได

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n (1.25I_n) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 95, 1 x 50)	200
400	555 (694)	2 (3 x 120, 1 x 70)	200
500	694 (868)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 95, 1 x 50)	300 300
630	874 (1093)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	300 400 400
800	1110 (1388)	3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 95, 1 x 50)	400 500 500
1000	1388 (1735)	3 (3 x 300, 1 x 150) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 150, 1 x 95)	500 500 600
1250	1735 (2169)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 185, 1 x 95) 6 (3 x 150, 1 x 95)	600 600 700
1600	2221 (2776)	5 (3 x 300, 1 x 150) 6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 185, 1 x 95)	700 800 800
2000	2776 (3470)	6 (3 x 300, 1 x 150) 7 (3 x 240, 1 x 120) 9 (3 x 185, 1 x 95)	900 900 (2x600)

ตาราง G – 18 TR LV 240 / 416 V

สายไฟฟ้า XLPE บนรางเคเบิลด้านล่างทึบไม่มีฝาปิด

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ความกว้างรางเคเบิล (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 120, 1 x 70)	200
400	555 (694)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 95, 1 x 50)	300 300
500	694 (868)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	300 400 400
630	874 (1093)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 150, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	400 500 500
800	1110 (1388)	3 (3 x 300, 1 x 150) 4 (3 x 240, 1 x 120) 5 (3 x 150, 1 x 95)	500 500 600
1000	1388 (1735)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 240, 1 x 120) 6 (3 x 185, 1 x 95)	600 700 700
1250	1735 (2169)	6 (3 x 240, 1 x 120) 8 (3 x 185, 1 x 95) 9 (3 x 150, 1 x 95)	800 900 1000
1600	2221 (2776)	7 (3 x 300, 1 x 150) 8 (3 x 240, 1 x 120) 9 (3 x 185, 1 x 95)	(2x600) (2x500) (2x600)
2000	2776 (3470)	9 (3 x 185, 1 x 95)	(2x600)

ตาราง G – 19 TR LV 240 / 416 V

สาย XLPE ร้อยท่อในอากาศ การติดตั้งกลุ่มที่ 2

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ขนาดท่อ (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 120, 1 x 70) 3 (3 x 70, 1 x 50)	2 x 65 3 x 50
400	555 (694)	2 (3 x 185, 1 x 95) 3 (3 x 95, 1 x 50) 4 (3 x 70, 1 x 50)	2 x 80 3 x 65 4 x 50
500	694 (868)	2 (3 x 300, 1 x 150) 3 (3 x 150, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	2 x 100 3 x 80 4 x 65
630	874 (1093)	3 (3 x 240, 1 x 120) 4 (3 x 120, 1 x 70) 5 (3 x 95, 1 x 50)	3 x 90 4 x 65 5 x 65
800	1110 (1388)	4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 70)	4 x 80 5 x 65
1000	1388 (1735)	5 (3 x 185, 1 x 95) 6 (3 x 150, 1 x 95) 7 (3 x 120, 1 x 70)	5 x 80 5 x 80 6 x 65
1250	1735 (2169)	6 (3 x 240, 1 x 120) 7 (3 x 150, 1 x 95) 8 (3 x 120, 1 x 70)	6 x 90 7 x 80 8 x 65
1600	2221 (2776)	7 (3 x 240, 1 x 120) 8(3 x 185, 1 x 95)	7 x 90 8 x 80
2000	2776 (3470)	8(3 x 300, 1 x 150) 9 (3 x 240, 1 x 120)	8 x 100 9 x 90

ตาราง G – 20 TR LV 240 / 416 V

สาย XLPE ร้อยท่อฝังดิน ห่าง 250 mm การติดตั้งกลุ่มที่ 5

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด I_n ($1.25I_n$) (A)	ขนาดสาย (mm²)	ขนาดท่อ (mm)
315	437 (546)	2 (3 x 150, 1 x 95) 3 (3 x 95, 1 x 50)	2 x 80 3 x 65
400	555 (694)	2 (3 x 240, 1 x 120) 3 (3 x 120, 1 x 95) 4 (3 x 95, 1 x 50)	2 x 90 3 x 65 4 x 65
500	694 (868)	3 (3 x 185, 1 x 95) 4 (3 x 120, 1 x 95)	3 x 80 4 x 65
630	874 (1093)	3 (3 x 300, 1 x 150) 4 (3 x 185, 1 x 95) 5 (3 x 120, 1 x 95)	3 x 100 4 x 80 5 x 65
800	1110 (1388)	4 (3 x 300, 1 x 150) 5 (3 x 185, 1 x 95) 6 (3 x 150, 1 x 95)	4 x 100 5 x 80 6 x 80
1000	1388 (1735)	5 (3 x 300, 1 x 150) 6 (3 x 240, 1 x 120)	5 x 100 6 x 90
1250	1735 (2169)	7 (3 x 240, 1 x 120) 8 (3 x 185, 1 x 95)	7 x 90 8 x 80
1600	2221 (2776)	8 (3 x 300, 1 x 150) 9 (3 x 240, 1 x 120)	8 x 100 9 x 90
2000	2776 (3470)	10 (3 x 300, 1 x 150)	10 x 100

ภาคผนวก H
แรงดันตกตามการติดตั้งกลุ่มที่ 2 และ 5

หลักการและข้อกำหนด

แรงดันตกสำหรับระบบแรงต่ำ

1. กรณีรับไฟแรงต่ำจากการไฟฟ้าแรงดันตกคิดจากเครื่องวัดฯ จนถึงจุดใช้ไฟ จุดสุดท้ายรวมกันต้องไม่เกิน 5 % จากระบบแรงดันที่ระบุ

2. กรณีรับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้าแรงดันตกคิดจากบริภัณฑ์ประธานแรงต่ำ จนถึงจุดใช้ไฟ จุดสุดท้ายรวมกันต้องไม่เกิน 5 % จากระบบแรงดันที่ระบุ แรงดันตกจากสายประธาน (Service) ไปยังโหลด (Load) 5 %

อาจแยกออกเป็น

แรงดันตกในสายป้อน (Feeder)		2 - 3 %
แรงดันตกในวงจรย่อย (Branch Circuit)		2 - 3 %
รวมไม่เกิน	5 %	

การคำนวณแรงดันตก

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. พ.ศ. 2556 ได้ให้ตารางสำหรับคำนวณแรงดันตกในภาคผนวก ฐ ซึ่งมีทั้งหมด 4 ตารางตามชนิดของฉนวนและวิธีการติดตั้ง

การคำนวณแรงดันตกสามารถทำได้ตามสูตร

VD = VD (T) x I x L / 1000

โดยที่

VD = ค่าแรงดันตก (V)

VD (T) = ค่าจาก ตารางภาคผนวก ฐ (mV/A/m)

I = กระแส (A)

L = ความยาวทางเดียวของวงจร (m)

สูตรนี้ใช้ได้ทั้งระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส
เนื่องจากค่า VD (T) ในตารางได้ปรับค่าไว้ให้แล้ว

ตารางแรงดันตกตามการติดตั้งกลุ่มที่ 2 และ 5

เนื่องจากการติดตั้งกลุ่มที่ 2 และ 5 มีใช้มากที่สุด จึงได้ทำตารางการคำนวณหาความยาวสายวงจรสำหรับ แรงดันตกไม่เกิน 2 % และ 3 % ตามกระแสพิกัด

ในการใช้งานจริงจะใช้กระแสน้อยกว่ากระแสพิกัด จากตารางสามารถคำนวณหาระยะใหม่โดยการเทียบ

ตัวอย่างที่ H.1

ระบบไฟฟ้า 1 ph 230 V ใช้ สาย 60227 IEC 01 (THW) 4 mm^2 การติดตั้งกลุ่มที่ 2 I_L = 10 A ต้องการ VD ไม่เกิน 2 % ระยะสูงสุด เท่าใด

วิธีทำ

จากตาราง H - 1 สาย PVC การติดตั้งกลุ่มที่ 2

สาย 60227 IEC 01 (THW) 4 mm^2

ที่กระแสพิกัด 28 A VD 2 % L = 14.9 m

$$I_L = 10 \text{ A}$$

$$L = (14.9 \times 28) / 10$$

$$= 41.7 \text{ m}$$

ตัวอย่างที่ H.2

วงจรสายป้อน 3 เฟส 4 สาย, 230 / 400 V ใช้ สาย XLPE แกนเดียว 4 x 50 mm^2 การติดตั้งกลุ่มที่ 2 ถ้า I_L = 140 A ถ้าต้องการ VD ไม่เกิน 3 % ระยะสูงสุด เท่าใด

วิธีทำ

จากตาราง H - 6 สาย XLPE การติดตั้งกลุ่มที่ 2

สาย XLPE 50 mm^2

ที่กระแสพิกัด 159 A VD 3 % L = 82.9 m

$$I_L = 140 \text{ A}$$

$$L = (82.9 \times 159) / 140$$

$$= 94.2 \text{ m}$$

ตัวอย่างที่ H.3

ระบบไฟฟ้า 1 ph 230 V ใช้ สาย NYY แกนเดียว 2 x 10 mm^2 การติดตั้งกลุ่มที่ 5 I_L = 50 A ต้องการ VD ไม่เกิน 2.5 % ระยะสูงสุด เท่าใด

วิธีทำ

จากตาราง H - 3 สาย PVC การติดตั้งกลุ่มที่ 5

สาย NYY แกนเดียว 2 x 10 mm^2

ที่กระแสพิกัด 62 A VD 2 % L = 16.9 m

I_L = 50 A

L = (16.9 x 62 x 2.5) / (50 x 2)

= 26.2 m

ตัวอย่างที่ H.4

วงจรสายป้อน 3 เฟส 4 สาย, 230 / 400 V ใช้ สาย XLPE แกนเดียว 4 x 35 mm^2 การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ถ้า I_L = 100 A ถ้าระยะทางเดียว 80 m VD จะเป็นเท่าใด

วิธีทำ

จากตาราง H - 8 สาย XLPE การติดตั้งกลุ่มที่ 5

สาย XLPE 4 x 35 mm^2

ที่กระแสพิกัด 132 A VD 3 % L = 77.7 m

I_L = 100 A

L = (77.7 x 132) / 100

= 103 m

ระยะ 80 m

VD = (80 / 103) x 3 = 2.33 %

= 2.33 x 400 / 100 = 9.3 V

หรือ VD = 1.17 x 100 x 80 / 1000 = 9.36 V

แรงดันตก สาย PVC แกนเดียว (ตาราง ฐ.1)

ขนาดสาย (mm²)	1 เฟส AC (mV / A / m)			3 เฟส AC (mV / A / m)			
	รูปแบบการติดตั้ง						
	กลุ่มที่ 1, 2	กลุ่มที่ 3, 7		กลุ่มที่ 1, 2	กลุ่มที่ 3, 7		
		Touching	Spaced		Trefoil	Flat	Spaced
1.0	44	44	44	38	38	38	38
1.5	29	29	29	25	25	25	25
2.5	18	18	18	15	15	15	15
4	11	11	11	9.5	9.5	9.5	9.5
6	7.3	7.3	7.3	6.4	6.4	6.4	6.4
10	4.4	4.4	4.4	3.8	3.8	3.8	3.8
16	2.8	2.8	2.8	2.4	2.4	2.4	2.4
25	1.81	1.75	1.75	1.52	1.50	1.50	1.52
35	1.33	1.25	1.27	1.13	1.11	1.12	1.15
50	1.00	0.94	0.97	0.85	0.81	0.84	0.86
70	0.71	0.66	0.69	0.61	0.57	0.60	0.63
95	0.56	0.50	0.54	0.48	0.44	0.47	0.50
120	0.48	0.41	0.45	0.40	0.35	0.39	0.43
150	0.41	0.35	0.39	0.35	0.30	0.34	0.38
185	0.36	0.29	0.34	0.31	0.26	0.30	0.34
240	0.30	0.25	0.29	0.27	0.21	0.25	0.29
300	0.27	0.22	0.26	0.24	0.18	0.23	0.26
400	0.25	0.19	0.23	0.22	0.16	0.20	0.24
500	0.23	0.17	0.21	0.20	0.15	0.18	0.22

แรงดันตก สาย PVC หลายแกน (ตาราง ฐ.2)

ขนาดสาย (mm^2)	1 เฟส AC (mV / A / m)	3 เฟส AC (mV / A / m)
	ทุกกลุ่มการติดตั้ง	ทุกกลุ่มการติดตั้ง
1.0	44	38
1.5	29	25
2.5	18	15
4	11	9.5
6	7.3	6.4
10	4.4	3.8
16	2.8	2.4
25	1.75	1.50
35	1.25	1.10
50	0.93	0.80
70	0.65	0.57
95	0.49	0.43
120	0.41	0.36
150	0.34	0.29
185	0.29	0.25
240	0.24	0.21
300	0.21	0.18
400	0.17	0.15

แรงดันตก สาย XLPE แกนเดียว (ตาราง ฐ.3)

ขนาดสาย (mm²)	1 เฟส AC (mV / A / m)			3 เฟส AC (mV / A / m)			
	รูปแบบการติดตั้ง						
	กลุ่มที่ 1, 2	กลุ่มที่ 3, 7		กลุ่มที่ 1, 2	กลุ่มที่ 3, 7		
		Touching	Spaced		Trefoil	Flat	Spaced
1.0	46	46	46	40	40	40	40
1.5	31	31	31	27	27	27	27
2.5	19	19	19	16	16	16	16
4	12	12	12	10	10	10	10
6	7.9	7.9	7.9	6.8	6.8	6.8	6.8
10	4.7	4.7	4.7	4.0	4.0	4.0	4.0
16	2.9	2.9	2.9	2.5	2.5	2.5	2.5
25	1.85	1.85	1.85	1.60	1.57	1.58	1.60
35	1.37	1.35	1.37	1.17	1.14	1.15	1.17
50	1.04	1.00	1.02	0.91	0.87	0.87	0.90
70	0.75	0.70	0.73	0.65	0.61	0.62	0.64
95	0.58	0.52	0.56	0.50	0.45	0.46	0.50
120	0.49	0.42	0.47	0.42	0.37	0.38	0.42
150	0.42	0.36	0.40	0.37	0.31	0.33	0.37
185	0.37	0.31	0.35	0.32	0.26	0.27	0.31
240	0.32	0.25	0.30	0.27	0.22	0.23	0.27
300	0.28	0.22	0.26	0.24	0.19	0.20	0.24
400	0.25	0.19	0.23	0.22	0.17	0.18	0.22
500	0.23	0.17	0.21	0.20	0.15	0.16	0.20

แรงดันตก สาย XLPE หลายแกน (ตาราง ฐ.4)

ขนาดสาย (mm^2)	1 เฟส AC (mV / A / m)	3 เฟส AC (mV / A / m)
	ทุกกลุ่มการติดตั้ง	ทุกกลุ่มการติดตั้ง
1.0	46	40
1.5	31	27
2.5	19	16
4	12	10
6	7.9	6.8
10	4.7	4
16	2.9	2.5
25	1.85	1.60
35	1.35	1.15
50	0.99	0.86
70	0.68	0.60
95	0.52	0.44
120	0.42	0.36
150	0.35	0.31
185	0.30	0.25
240	0.24	0.22
300	0.21	0.18
400	0.19	0.16

ตาราง H - 1 แรงดันตก
ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย 230 V
สาย PVC การติดตั้งกลุ่มที่ 2 ตารางที่ 5 – 20

ขนาดสาย (mm^2)	พิกัดกระแส (A)	แรงดันตกตาม ภาคผนวก ฐ.1 (mV / A / m)	ความยาวสาย (m) แรงดันตกไม่เกิน	
			2 % (4.6 V)	3 % (6.9 V)
1	12	44	8.7	13.1
1.5	15	29	10.6	15.9
2.5	21	18	12.2	18.3
4	28	11	14.9	22.4
6	36	7.3	17.5	26.3
10	50	4.4	20.9	31.4
16	66	2.8	24.9	37.3
25	88	1.81	28.9	43.3
35	109	1.33	31.7	47.6
50	131	1.00	35.1	52.7
70	167	0.71	38.8	58.2
95	202	0.56	40.7	61.0

ตาราง H - 2 แรงดันตก
ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 230 / 400 V
สาย PVC แกนเดียว การติดตั้งกลุ่มที่ 2 ตารางที่ 5 – 20

ขนาดสาย (mm^2)	พิกัดกระแส (A)	แรงดันตกตามภาคผนวก ฐ.1 (mV / A / m)	ความยาวสาย (m) แรงดันตกไม่เกิน	
			2 % (8 V)	3 % (12 V)
1	10	38	21.1	31.6
1.5	13	25	24.6	36.9
2.5	18	15	29.6	44.4
4	24	9.5	35.1	52.6
6	31	6.4	40.3	60.5
10	44	3.8	47.8	71.5
16	59	2.4	56.5	84.7
25	77	1.52	68.4	103
35	96	1.13	73.7	111
50	117	0.85	80.4	121
70	149	0.61	88	132
95	180	0.48	92.6	139
120	208	0.40	96.2	144
150	228	0.35	100	150
185	258	0.31	100	150
240	301	0.27	98.4	148
300	343	0.24	97.2	146

ตาราง H - 3 แรงดันตก
ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย 230 V
สาย PVC แกนเดียว การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ตารางที่ 5 – 23

ขนาดสาย (mm^2)	พิกัดกระแส (A)	แรงดันตกตาม ภาคผนวก ฐ.1 (mV / A / m)	ความยาวสาย (m) แรงดันตกไม่เกิน	
			2 %(4.6 V)	3 % (6.9 V)
1	17	44	6.2	9.2
1.5	21	29	7.6	11.3
2.5	28	18	9.1	13.7
4	36	11	11.6	17.4
6	46	7.3	13.7	20.5
10	62	4.4	16.9	25.3
16	81	2.8	20.3	30.4
25	106	1.81	24.0	37.0
35	129	1.33	26.8	40.2
50	153	1.00	30.1	45.1
70	190	0.71	34.1	51.1
95	232	0.56	35.4	53.1

ตาราง H - 4 แรงดันตก
ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 230 / 400 V
สาย PVC แกนเดียว การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ตารางที่ 5 – 23

ขนาดสาย (mm^2)	พิกัดกระแส (A)	แรงดันตกตามภาคผนวก ฐ.1 (mV / A / m)	ความยาวสาย (m) แรงดันตกไม่เกิน	
			2 % (8 V)	3 % (12 V)
1	15	38	14.0	21.1
1.5	19	25	16.8	25.3
2.5	25	15	21.3	32.0
4	33	9.5	25.5	38.3
6	41	6.4	30.5	45.7
10	55	3.8	38.3	57.4
16	72	2.4	46.3	69.4
25	94	1.52	56.0	84.0
35	114	1.13	62.1	93.2
50	136	0.85	69.2	104
70	168	0.61	78.1	117
95	204	0.48	81.7	123
120	234	0.40	85.5	128
150	266	0.35	85.9	129
185	303	0.31	85.2	128
240	361	0.27	82.0	123
300	404	0.24	82.5	124

ตาราง H - 5 แรงดันตก
ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย 230 V
สาย XLPE แกนเดียว การติดตั้งกลุ่มที่ 2 ตารางที่ 5 – 27

ขนาดสาย (mm^2)	พิกัดกระแส (A)	แรงดันตกตาม ภาคผนวก ฐ.3 (mV / A / m)	ความยาวสาย (m) แรงดันตกไม่เกิน	
			2 % (4.6 V)	3 % (6.9 V)
1	15	46	6.7	10
1.5	21	31	7.1	10.6
2.5	28	19	8.6	13
4	38	12	10.1	15.1
6	49	7.9	11.9	17.8
10	68	4.7	14.4	21.6
16	91	2.9	17.4	26.1
25	121	1.85	20.5	30.8
35	149	1.37	22.5	33.8
50	180	1.04	24.6	36.9
70	230	0.75	26.7	40
95	278	0.58	28.5	42.8

ตาราง H - 6 แรงดันตก
ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 230 / 400 V
สาย XLPE แกนเดียว การติดตั้งกลุ่มที่ 2 ตารางที่ 5 – 27

ขนาดสาย (mm^2)	พิกัดกระแส (A)	แรงดันตกตาม ภาคผนวก ฐ.3 (mV / A / m)	ความยาวสาย (m) แรงดันตกไม่เกิน	
			2 % (8 V)	3 % (12 V)
1	14	40	14.3	21.4
1.5	18	27	16.5	24.7
2.5	25	16	20	30
4	34	10	23.5	35.3
6	44	6.8	26.7	40.1
10	60	4.0	33.3	50
16	80	2.5	40	60
25	106	1.6	47.2	70.8
35	131	1.17	52.2	78.3
50	159	0.91	55.3	82.9
70	202	0.65	60.9	91.4
95	245	0.50	65.3	98
120	284	0.42	67.1	101
150	311	0.37	69.5	104
185	349	0.322	71.6	107
240	410	0.27	72.3	108
300	468	0.24	71.2	107

ตาราง H - 7 แรงดันตก
ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย 230 V
สาย XLPE แกนเดียว การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ตารางที่ 5 – 29

ขนาดสาย (mm^2)	พิกัดกระแส (A)	แรงดันตกตาม ภาคผนวก ฐ.3 (mV / A / m)	ความยาวสาย (m) แรงดันตกไม่เกิน	
			2 % (4.6 V)	3 % (6.9 V)
1.5	25	31	5.9	8.9
2.5	33	19	7.3	11.0
4	43	12	8.9	13.4
6	54	7.9	10.8	16.2
10	71	4.7	13.8	20.7
16	94	2.9	16.9	25.3
25	124	1.85	20.1	30.1
35	150	1.37	22.4	33.6
50	180	1.04	24.6	36.9
70	223	0.75	27.5	41.3
95	271	0.58	29.3	43.9

ตาราง H - 8 แรงดันตก
ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 230 / 400 V
สาย XLPE แกนเดียว การติดตั้งกลุ่มที่ 5 ตารางที่ 5 – 29

ขนาดสาย (mm^2)	พิกัดกระแส (A)	แรงดันตกตาม ภาคผนวก ฐ.3 (mV / A / m)	ความยาวสาย (m) แรงดันตกไม่เกิน	
			2 % (8 V)	3 % (12 V)
1.5	22	27	13.5	20.2
2.5	29	16	17.2	25.9
4	38	10	21.1	31.6
6	47	6.8	25.0	37.5
10	63	4.0	31.7	47.6
16	83	2.5	38.6	57.8
25	109	1.6	45.9	68.8
35	132	1.17	51.8	77.7
50	159	0.91	55.3	82.9
70	196	0.65	62.8	94.2
95	238	0.50	67.2	101
120	275	0.42	69.2	104
150	312	0.37	69.3	104
185	356	0.32	70.2	105
240	418	0.27	70.9	106
300	475	0.24	70.2	105

ภาคผนวก M
สาย ท่อ CB ของ Motors

หลักการและข้อกำหนด

- ขนาดพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าให้คิดไม่น้อยกว่า 125 % ของกระแสพิกัดมอเตอร์
- ขนาดสายดินคิด 1.15 x I_n ตามข้อ 4.19 และตาม ตาราง 4 - 2 ของ CB ขั้นถัดไป
- มอเตอร์สตาร์ทแบบ Star - Delta ซึ่งจะมีสายเข้ามอเตอร์ 6 เส้น

I_c = 1.25 x 0.58 x I_n = 0.725 x I_n

ถ้า 6 เส้น เดินในท่อเดียวกัน C_g = 0.8

I_c = 0.725 x I_n / 0.80

= 0.91 x I_n

- CB, $I_{cb} \leq 2.5 \times I_n$

ค่าในตารางได้มาจากตารางต่างประเทศสำหรับมอเตอร์ทั่วไป

CB I_{cb} = (1.5 - 2.0) x I_n

ตัวอย่างที่ M.1

มอเตอร์ 2.2 kW, 230V, 1 ph, I_n = 19 A ใช้สาย 60227 IEC 01 (THW) และ NYY เดินในท่อร้อยสายในอากาศให้หาขนาดสาย ท่อ CB

วิธีทำ

I_c = 1.25 x I_n = 1.25 x 19 = 24 A

CB = 40 A

สาย Ground 1.15 x 19 = 22 A, 40 A

ตาราง 4 - 2 G - 4 mm^2

สายไฟฟ้า

60227 IEC 01 (THW)	2 x 4 mm^2 (28 A)
	G - 4 mm^2, ϕ 15 mm
NYY	2 x 4 mm^2 (28 A)
	G - 4 mm^2, ϕ 32 mm
	ตาราง M - 1

ตัวอย่างที่ M.2

มอเตอร์ 22 kW, 400V, 3 ph, In = 42 A เดินในท่อร้อยสาย และสตาร์ทแบบ DOL ให้หาขนาดสาย ท่อ CB

วิธีทำ

I_c = 1.25 x I = 1.25 x 42 = 53 A

CB = 80 A

สาย Ground 1.15 x 42 = 48 A, 70 A

ตาราง 4 - 2 G - 6 mm^2

สายไฟฟ้า

60227 IEC 01	3 x 16 mm^2 (59 A)
	G - 6 mm^2, ϕ 25 mm
NYY	3 x 16 mm^2 (59 A)
	G - 6 mm^2, ϕ 50 mm
	ตาราง M - 2

ตัวอย่างที่ M.3

มอเตอร์ 22 kW, 400V, 3 ph, I_n = 42 A เดินในท่อร้อยสาย และสตาร์ท Star - Delta ให้หาขนาดสาย ท่อ CB

วิธีทำ

I_c = 1.25 I_n = 1.25 I_n / 1.732 = 0.73I_n

ถ้าเดินในท่อ 6 เส้น 2 กลุ่มวงจรตัวคูณปรับค่า 0.8

I_c = 0.73 I_n / 0.8 = 0.91 I_n

= 0.91 x 42

= 38 A

CB = 80 A

สายไฟฟ้า

60227 IEC 01 6 x 10 mm^2 (44 A)

G - 6 mm^2, ϕ 32 mm

NYY 6 x 10 mm^2 (44 A)

G - 6 mm^2, ϕ 65 mm

ตาราง M - 3

ตาราง M-1
ขนาดสาย CB และ ท่อ สำหรับ Motor 1 ph, 230 V

พิกัดมอเตอร์		กระแสพิกัด			ขนาดของสายไฟฟ้าในท่อโลหะ			บริภัณฑ์ป้องกัน
kW	Hp	I_n (A)	1.15 I_n (A)	1.25 I_n (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm) 60227 IEC 01	ขนาดท่อ (mm) NYY	CB (AT)
0.37	0.5	3.9	4.5	4.9	2 x 2.5 G - 2.5	15	32	16
0.55	0.75	5.2	6.0	6.5	2 x 2.5 G - 2.5	15	32	16
0.75	1.0	6.6	7.6	8.3	2 x 2.5 G - 2.5	15	32	16
1.1	1.5	9.6	11	12	2 x 2.5 G - 2.5	15	32	20
1.5	2.0	13	15	16	2 x 2.5 G - 2.5	15	32	32
2.2	3.0	19	22	24	2 x 4 G - 4	15	32	40
3.0	4.0	24	28	30	2 x 6 G - 4	20	32	50
4.0	5.0	30	34	37	2 x 10 G - 4	20	40	63
4.4	6.0	35	40	44	2 x10 G - 4	20	40	70
5.5	7.5	42	48	52	2 x 16 G - 6	25	40	70
6.0	8.0	44	51	55	2 x 16 G - 6	25	40	90
7.0	9.0	49	56	61	2 x 16 G - 6	25	40	90
7.5	10.0	54	62	67	2 x 25 G - 6	32	40	90

ตาราง M-2
ขนาดสาย CB และ ท่อสำหรับ Motor 3 ph, 400 V DOL

พิกัดมอเตอร์		กระแสพิกัด			ขนาดของสายไฟฟ้าในท่อโลหะ			บริภัณฑ์ป้องกัน
kW	Hp	I_n (A)	1.15 I_n (A)	1.25 I_n (A)	ขนาดสาย ($mm^{2)}$)	ขนาดท่อ (mm) 60227 IEC 01	ขนาดท่อ (mm) NYY	CB (AT)
0.37	0.5	1.0	1.1	1.2	3 x 2.5 G - 2.5	15	32	16
0.55	0.75	1.5	1.7	1.9	3 x 2.5 G - 2.5	15	32	16
0.75	1.0	1.9	2.2	2.4	3 x 2.5 G - 2.5	15	32	16
1.1	1.5	2.5	2.9	3.1	3 x 2.5 G - 2.5	15	32	16
1.5	2.0	3.4	3.9	4.2	3 x 2.5 G - 2.5	15	32	15
2.2	3.0	4.8	5.5	6.0	3 x 2.5 G - 2.5	15	32	16
3.7	5.0	7.4	8.5	9.2	3 x 2.5 G - 2.5	15	32	20
5.5	7.5	11	13	14	3 x 2.5 G - 2.5	15	32	20
7.5	10	15	17	19	3 x 2.5 G - 2.5	15	40	32
11	15	21	24	26	3 x 6 G - 4	20	40	50
15	20	28	32	35	3 x 10 G - 4	25	40	63
18.5	25	35	40	44	3 x 10 G - 6	25	40	80

ตาราง M-2 (ต่อ)

ขนาดสายCB และท่อสำหรับ Motor 3 ph, 400 V DOL

พิกัดมอเตอร์		กระแสพิกัด			ขนาดของสายไฟฟ้าในท่อโลหะ			บริภัณฑ์ป้องกัน
kW	Hp	I_n (A)	1.15 I_n (A)	1.25 I_n (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm) 60227 IEC 01	ขนาดท่อ (mm) NYY	CB (AT)
22	30	42	48	52	3 x 16 G - 6	25	50	80
30	40	57	65	71	3 x 25 G - 6	32	50	90
37	50	69	79	86	3 x 35 G - 10	40	65	110
45	60	81	93	101	3 x 50 G - 10	50	65	125
55	75	100	115	125	3 x 70 G - 16	50	65	160
75	100	131	151	164	3 x 95 G - 16	65	80	225
90	125	162	186	202	3 x 120 G - 16	65	80	250
110	150	195	224	244	3 x 185 G - 25	80	90	320
132	175	233	268	291	3 x 240 G - 25	90	100	400
160	220	285	328	356	2 (3 x 95 G - 25)	2 x 65	2 x 80	400
200	270	352	405	440	2 (3 x 150 G - 35)	2 x 80	2 x 90	630

ตาราง M-3

ขนาดสาย CB และท่อสำหรับ Motor 3 ph, 400 V Star - Delta

พิกัดมอเตอร์		กระแสพิกัด			ขนาดของสายไฟฟ้าในท่อโลหะ			บริภัณฑ์ป้องกัน
kW	Hp	I_n (A)	1.15 I_n (A)	0.91 I_n (A)	ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดท่อ (mm) 60227 IEC 01	ขนาดท่อ (mm) NYY	CB (AT)
7.5	10	15	17	14	6 x 2.5 G - 2.5	20	40	32
11	15	21	24	19	6 x 4 G - 4	20	50	50
15	20	28	32	26	6 x 6 G - 4	25	50	63
18.5	25	35	40	32	6 x 10 G - 6	32	65	80
22	30	42	48	38	6 x 10 G - 6	32	65	80
30	40	57	65	52	6 x 16 G - 6	40	65	90
37	50	69	79	63	6 x 25 G - 10	50	65	110
45	60	81	93	74	6 x 25 G - 10	50	65	125
55	75	100	115	91	6 x 35 G - 16	50	80	160
75	100	131	151	119	6 x 70 G - 25	65	80	225
90	125	162	186	147	6 x 70 G - 25	65	80	250
110	150	195	224	178	6 x 95 G - 25	80	90	320

ตาราง M-3 (ต่อ)
ขนาดสาย CB และท่อสำหรับ Motor 3 ph, 400 V Star - Delta

พิกัดมอเตอร์		กระแสพิกัด			ขนาดของสายไฟฟ้า ในท่อโลหะ			บริภัณฑ์ป้องกัน
kW	Hp	I_n (A)	1.15 I_n (A)	0.91 I_n (A)	ขนาดสาย (mm$^{2)}$	ขนาดท่อ (mm) 60227 IEC 01	ขนาดท่อ (mm) NYY	CB (AT)
132	175	233	268	212	6 x 150 G - 25	90	125	400
160	220	285	328	259	6 x 240 G - 25	125	125	400
200	270	352	405	320	6 x 300 G - 50	125	150	630

ภาคผนวก S
กระแสลัดวงจร

หลักการและข้อกำหนด

- พิกัดกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมากกว่าค่ากระแสลัดวงจรที่จุดติดตั้ง ข้อ 3.5.2
- กระแสลัดวงจรทางด้านแรงดันต่ำ ขึ้นอยู่กับ
    1) ขนาดของระบบไฟฟ้า ทางด้าน MV โดยทั่วไปค่า Short Circuit Capacity ใช้ 500 MVA
    2) ขนาดพิกัดของหม้อแปลง และ % U
    3) ขนาดสายไฟฟ้า และความยาวสาย
- การคำนวณกระแสลัดวงจรต้องทำตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนด มาตรฐานที่นิยมใช้คือ IEC 60909 Short-circuit Current Calculation in Three-phase AC System
- การคำนวณมีรายละเอียดมาก ผู้เขียนจึงได้ใช้ Computer คำนวณกระแสลัดวงจร และทำเป็นตารางไว้เพื่อให้ใช้สะดวก
- ค่ากระแสลัดวงจรในตาราง โดยทั่วไปจะเป็นค่าสูงสุดตามข้อมูลที่ใช้ แต่ถ้าข้อมูลผิดไปเช่นค่า Impedance ของหม้อแปลงลดลง, มีมอเตอร์ต่ออยู่ เป็นต้น

ค่ากระแสลัดวงจรที่แท้จริง อาจเพิ่มขึ้นบ้าง

ดังนั้นในการใช้ตาราง ควรเผื่อไว้ เพื่อความปลอดภัยโดยทั่วไปควรเผื่อประมาณ 25 %

ตัวอย่างที่ S.1

หม้อแปลง 1600 kVA, 22 kV / 230 - 400 V ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่มี S''_{KQ} = 500 MVA ให้หาพิกัดกระแสลัดวงจรของ CB ที่ ตู้ MDB จะต้องใช้ Main CB ขนาด AT และ AF และให้หาสายเมน XLPE เดินบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ

วิธีทำ

จากตาราง S – 1 หม้อแปลง 1600 kVA

I_k = 36.4 kA

เผื่อ 25 %

I_k = 1.25 x 36.4 = 45.5 kA

กระลัดวงจรที่ตู้ MDB = 50 kA

CB ทุกตัวที่ตู้ MDB IC = 50 kA

Main CB

AT = 2400 – 2800 A

AF = 3200 A

จากตาราง G – 6

หม้อแปลง 1600 kVA สายเมน

6 (3 x 300, 1 x 150 mm^2)

7 (3 x 240, 1 x 120 mm^2)

8 (3 x 185, 1 x 95 mm^2)

ตัวอย่างที่ S.2

หม้อแปลง 1000 kVA, 22 kV / 230 - 400 V ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่มี S''_{KQ} = 500 MVA ให้หา พิกัด I_{cu} ของ CB ที่ ตู้ MDB และถ้าสายขนาด 50 mm² ยาว 25 m จ่ายไฟไปให้ตู้ DB ให้หา พิกัด I_{cu} ของ CB ที่ ตู้ DB

วิธีทำ

จากตาราง

หม้อแปลง 1000 kVA, I_k = 23.2 kA

$I_{cu} \geq 1.25 \times 23.2 = 29$ kA

CB ทั้งหมด ที่ตู้ MDB ต้องมี

I_{cu} = 30 kA

จากตาราง

สาย 50 mm², ยาว 25 m, หม้อแปลง 1000 kVA

I_k = 13.8 kA

$I_{cu} \geq 1.25 \times 13.8 = 17.3$ kA

CB ทั้งหมด ที่ตู้ DB ต้องมี

I_{cu} = 18 kA

ตัวอย่างที่ S.3

หม้อแปลง 2000 kVA, 22 kV / 230 - 400 V ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่มี S''_{KQ} = 500 MVA ให้หา พิกัด I_{cu} ของ CB ที่ ตู้ MDB และถ้าสายขนาด 50 mm² ยาว 30 m จ่ายไฟไปให้ตู้ DB ให้หา พิกัด I_{cu} ของ CB ที่ ตู้ DB

วิธีทำ

จากตาราง

หม้อแปลง 2000 kVA, I_k = 44.8 kA

$I_{cu} \geq 1.25 \times 44.8 = 56$ kA

CB ทั้งหมด ที่ตู้ MDB ต้องมี

I_{cu} = 56 kA

= 65 kA

จากตาราง

สาย 50 mm², ยาว 25 m, หม้อแปลง 2000 kVA I_k = 18.1 kA

สาย 50 mm², ยาว 50 m, หม้อแปลง 2000 kVA I_k = 10.5 kA

ใช้วิธี Interpolation

ระยะห่าง 50 – 25 = 25 m

กระแสต่าง 18.1 – 10.5 = 7.6 kA

สาย 50 mm², ยาว 30 m

$I_k = 18.1 - (7.6 / 25) \times 5 = 16.6$ kA

$I_{cu} \geq 1.25 \times 16.6 = 20.8$ kA

CB ทั้งหมด ที่ตู้ DB ต้องมี

I_{cu} = 22 kA

ตาราง S – 1
ขนาด CB และ IC ที่ใช้กับหม้อแปลงที่ด้านแรงดันต่ำ 230 / 400 V

ขนาดพิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด (A)	125% กระแสพิกัด (A)	ค่าปรับตั้ง CB (AT)	AF (A)	ค่าพิกัดกระแสลัดวงจร (kA)
315	455	568	500 – 550	630	18
400	577	721	600 – 700	800	18
500	722	903	800 – 900	1000	22
630	909	1136	1000 – 1100	1250	30
800	1155	1443	1250 – 1400	1600	25
1000	1443	1804	1500 – 1800	2000	30
1250	1804	2255	1900 – 2200	2500	42
1600	2309	2886	2400 – 2800	3200	50
2000	2887	3609	2900 – 3600	4000	65
2500	3608	4510	3700 – 4500	5000	80

ตาราง S – 2
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm²)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
315	16	11.2	8.4	5.5	3.4	2.4	1.8
	25	11.2	9.3	6.9	4.6	3.4	2.7
	35	11.2	9.7	7.8	5.6	4.3	3.5
	50	11.2	10.1	8.5	6.6	5.3	4.4
	70	11.2	10.3	9.0	7.4	6.2	5.3
	95	11.2	10.4	9.3	7.9	6.8	5.9
	120	11.2	10.5	9.5	8.2	7.2	6.4
	150	11.2	10.5	9.7	8.5	7.5	6.7
	185	11.2	10.6	9.8	8.6	7.7	7.0
	240	11.2	10.6	9.9	8.8	8.0	7.2
	300	11.2	10.6	9.9	8.9	8.1	7.4
	400	11.2	10.7	10.0	9.0	8.2	7.4
	2 x 95	11.2	10.8	10.2	9.3	8.6	7.9
	2 x 120	11.2	10.8	10.3	9.5	8.8	8.2
	2 x 150	11.2	10.9	10.4	9.7	9.0	8.5
	2 x 185	11.2	10.9	10.4	9.8	9.2	8.6
	2 x 240	11.2	10.9	10.5	9.9	9.3	8.8
	2 x 300	11.2	10.9	10.5	9.9	9.4	8.9

ตาราง S – 2 (ต่อ)
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm²)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
400	16	14.1	9.9	6.0	3.5	2.4	1.9
	25	14.1	11.2	7.8	5.0	3.6	2.8
	35	14.1	11.9	9.0	6.2	4.6	3.7
	50	14.1	12.4	10.1	7.4	5.8	4.7
	70	14.1	12.7	10.8	8.5	6.9	5.8
	95	14.1	12.9	11.3	9.3	7.7	6.6
	120	14.1	13.0	11.6	9.7	8.3	7.2
	150	14.1	13.1	11.8	10.1	8.7	7.7
	185	14.1	13.2	12.0	10.3	9.0	8.0
	240	14.1	13.3	12.1	10.6	9.3	8.4
	300	14.1	13.3	12.2	10.7	9.5	8.6
	400	14.1	13.3	12.3	10.8	9.7	8.8
	2 x 95	14.1	13.5	12.6	11.3	10.2	9.3
	2 x 120	14.1	13.6	12.8	11.6	10.6	9.7
	2 x 150	14.1	13.6	12.9	11.8	10.9	10.1
	2 x 185	14.1	13.6	13.0	12.0	11.1	10.3
	2 x 240	14.1	13.7	13.0	12.1	11.3	10.6
	2 x 300	14.1	13.7	13.1	12.2	11.4	10.7
	3 x 185	14.1	13.8	13.3	12.6	12.0	11.4
	3 x 240	14.1	13.8	13.4	12.7	12.1	11.5
	3 x 300	14.1	13.8	13.4	12.8	12.2	11.7

ตาราง S – 2 (ต่อ)
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm²)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
500	16	17.6	11.3	6.4	3.6	2.5	1.9
	25	17.6	13.2	8.6	5.2	3.7	2.9
	35	17.6	14.2	10.2	6.6	4.8	3.8
	50	17.6	14.9	11.6	8.2	6.2	5.0
	70	17.6	15.4	12.7	9.5	7.5	6.2
	95	17.6	15.7	13.4	10.5	8.6	7.2
	120	17.6	15.9	13.8	11.2	9.3	8.0
	150	17.6	16.0	14.1	11.7	9.9	8.5
	185	17.6	16.1	14.3	12.0	10.3	9.0
	240	17.6	16.2	14.5	12.4	10.7	9.5
	300	17.6	16.3	14.7	12.6	11.0	9.8
	400	17.6	16.3	14.8	12.8	11.2	10.0
	2 x 95	17.6	16.6	15.3	13.4	11.8	10.5
	2 x 120	17.6	16.7	15.5	13.8	12.4	11.2
	2 x 150	17.6	16.8	15.7	14.1	12.8	11.7
	2 x 185	17.6	16.8	15.8	14.3	13.1	12.0
	2 x 240	17.6	16.9	15.9	14.5	13.4	12.4
	2 x 300	17.6	16.9	16.0	14.7	13.6	12.6
	3 x 185	17.6	17.1	16.4	15.3	14.3	13.5
	3 x 240	17.6	17.1	16.4	15.4	14.5	13.7
	3 x 300	17.6	17.1	16.5	15.5	14.7	13.9

ตาราง S – 2 (ต่อ)
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm^2)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
630	16	22.0	12.7	6.8	3.7	2.5	1.9
	25	22.0	15.3	9.3	5.4	3.8	2.9
	35	22.0	16.8	11.3	7.0	5.0	3.9
	50	22.0	18.0	13.3	8.9	6.6	5.2
	70	22.0	18.7	14.8	10.6	8.1	6.6
	95	22.0	19.2	15.8	11.9	9.5	7.8
	120	22.0	19.5	16.4	12.8	10.4	8.7
	150	22.0	19.7	16.8	13.4	11.1	9.4
	185	22.0	19.8	17.1	13.9	11.7	10.0
	240	22.0	19.9	17.5	14.4	12.2	10.6
	300	22.0	20.0	17.7	14.7	12.6	11.0
	400	22.0	20.1	17.8	14.9	12.9	11.3
	2 x 95	22.0	20.5	18.6	15.8	13.6	11.9
	2 x 120	22.0	20.7	18.9	16.4	14.4	12.8
	2 x 150	22.0	20.8	19.1	16.8	15.0	13.4
	2 x 185	22.0	20.8	19.3	17.1	15.4	13.9
	2 x 240	22.0	20.9	19.5	17.5	15.8	14.4
	2 x 300	22.0	21.0	19.6	17.7	16.1	14.7
	2 x 400	22.0	21.0	19.7	17.8	16.2	14.9
	3 x 185	22.0	21.2	20.1	18.5	17.1	15.9
	3 x 240	22.0	21.3	20.3	18.8	17.5	16.3
	3 x 300	22.0	21.3	20.3	18.9	17.7	16.6

ตาราง S – 2 (ต่อ)
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm²)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
800	16	18.7	11.9	6.6	3.7	2.5	1.9
	25	18.7	13.9	8.9	5.3	3.8	2.9
	35	18.7	15.0	10.7	6.8	4.9	3.9
	50	18.7	15.9	12.2	8.5	6.4	5.2
	70	18.7	16.4	13.4	9.9	7.8	6.6
	95	18.7	16.7	14.2	11.0	8.9	7.8
	120	18.7	16.9	14.6	11.7	9.7	8.7
	150	18.7	17.0	14.9	12.2	10.3	9.4
	185	18.7	17.1	15.1	12.6	10.7	10.0
	240	18.7	17.2	15.4	13.0	11.2	10.6
	300	18.7	17.3	15.5	13.2	11.5	11.0
	400	18.7	17.3	15.6	13.4	11.7	11.3
	2 x 95	18.7	17.7	16.3	14.2	12.4	11.9
	2 x 120	18.7	17.8	16.5	14.6	13.0	12.8
	2 x 150	18.7	17.8	16.6	14.9	13.5	13.4
	2 x 185	18.7	17.9	16.8	15.1	13.8	13.9
	2 x 240	18.7	17.9	16.9	15.4	14.1	14.4
	2 x 300	18.7	18.0	17.0	15.5	14.3	14.7
	2 x 400	18.7	18.0	17.0	15.6	14.4	14.9
	3 x 185	18.7	18.2	17.4	16.2	15.1	15.9
	3 x 240	18.7	18.2	17.5	16.3	15.4	16.3
	3 x 300	18.7	18.2	17.5	16.4	15.5	16.6

ตาราง S – 2 (ต่อ)
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm²)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
1000	16	23.2	13.2	6.9	3.7	2.5	1.9
	25	23.2	16.0	9.6	5.5	3.8	2.9
	35	23.2	17.7	11.7	7.2	5.1	3.9
	50	23.2	18.9	13.8	9.1	6.7	5.3
	70	23.2	19.7	15.4	10.9	8.3	6.7
	95	23.2	20.2	16.5	12.3	9.7	8.0
	120	23.2	20.5	17.1	13.2	10.7	8.9
	150	23.2	20.5	17.6	13.9	11.4	9.7
	185	23.2	20.7	17.9	14.5	12.0	10.3
	240	23.2	20.8	18.3	15.0	12.6	10.9
	300	23.2	21.0	18.5	15.3	13.0	11.3
	400	23.2	21.1	18.6	15.5	13.3	11.6
	2 x 95	23.2	21.7	19.5	16.5	14.2	12.3
	2 x 120	23.2	21.8	19.9	17.1	15.0	13.2
	2 x 150	23.2	21.9	20.1	17.6	15.6	13.9
	2 x 185	23.2	22.0	20.3	17.9	16.0	14.5
	2 x 240	23.2	22.0	20.5	18.3	16.5	15.0
	2 x 300	23.2	22.1	20.6	18.5	16.7	15.3
	2 x 400	23.2	22.1	20.7	18.6	16.9	15.5
	3 x 185	23.2	22.4	21.2	19.5	17.9	16.6
	3 x 240	23.2	22.4	21.3	19.7	18.3	17.0
	3 x 300	23.2	22.5	21.5	19.8	18.5	17.3
	3 x 400	23.2	22.5	21.5	20.0	18.6	17.5

ตาราง S – 2 (ต่อ)
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm^2)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
1250	16	28.8	14.4	7.1	3.8	2.6	1.9
	25	28.8	18.1	10.1	5.7	3.9	3.0
	35	28.8	20.4	12.7	7.5	5.2	4.0
	50	28.8	22.3	15.3	9.6	7.0	5.4
	70	28.8	23.5	17.5	11.8	8.8	7.0
	95	28.8	24.2	19.0	13.6	10.4	8.4
	120	28.8	24.7	19.9	14.7	11.6	9.5
	150	28.8	25.0	20.6	15.7	12.6	10.4
	185	28.8	25.2	21.1	16.4	13.3	11.2
	240	28.8	25.4	21.5	17.1	14.1	12.0
	300	28.8	25.5	21.8	17.5	14.6	12.5
	400	28.8	25.7	22.0	17.8	14.9	12.8
	2 x 95	28.8	26.4	23.2	19.0	15.9	13.6
	2 x 120	28.8	26.6	23.8	19.9	17.0	14.7
	2 x 150	28.8	26.8	24.1	20.6	17.8	15.7
	2 x 185	28.8	26.9	24.4	21.1	18.4	16.4
	2 x 240	28.8	27.0	24.7	21.5	19.0	17.1
	2 x 300	28.8	27.1	24.8	21.8	19.4	17.5
	2 x 400	28.8	27.1	25.0	22.0	19.7	17.8
	3 x 185	28.8	27.5	25.7	23.2	21.1	19.3
	3 x 240	28.8	27.6	25.9	23.5	21.5	19.8
	3 x 300	28.8	27.6	26.0	23.8	21.8	20.2
	3 x 400	28.8	27.7	26.1	23.9	22.0	20.4

ตาราง S – 2 (ต่อ)
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm²)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
1600	16	36.4	15.6	7.3	3.8	3.0	2.0
	25	36.4	20.4	10.7	5.8	4.0	3.0
	35	36.4	23.6	13.6	7.7	5.3	4.1
	50	36.4	26.3	16.9	10.2	7.2	5.6
	70	36.4	28.2	19.7	12.7	9.2	7.2
	95	36.4	29.4	21.9	14.9	11.1	8.9
	120	36.4	30.0	23.1	16.4	12.5	10.1
	150	36.4	30.5	24.1	17.6	13.7	11.2
	185	36.4	30.9	24.8	18.5	14.7	12.1
	240	36.4	31.2	25.5	19.4	15.6	13.1
	300	36.4	31.4	25.9	20.0	16.3	13.7
	400	36.4	31.5	26.3	20.5	16.7	14.2
	2 x 95	36.4	32.7	27.9	21.9	17.8	14.9
	2 x 120	36.4	33.0	28.7	23.1	19.2	16.4
	2 x 150	36.4	33.3	29.3	24.1	20.4	17.6
	2 x 185	36.4	33.4	29.7	24.8	21.2	18.5
	2 x 240	36.4	33.6	30.1	25.5	22.1	19.4
	2 x 300	36.4	33.7	30.3	25.9	22.6	20.0
	2 x 400	36.4	33.8	30.5	26.3	23.0	20.5
	3 x 185	36.4	34.4	31.7	27.9	24.8	22.3
	3 x 240	36.4	34.5	31.9	28.4	25.5	23.1
	3 x 300	36.4	34.6	32.1	28.7	25.9	23.6
	3 x 400	36.4	34.6	32.3	29.0	26.3	24.0

ตาราง S – 2 (ต่อ)
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm²)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
2000	16	44.8	16.5	7.5	3.9	2.6	2.0
	25	44.8	22.2	11.0	5.9	4.0	3.0
	35	44.8	26.4	14.3	7.9	5.4	4.1
	50	44.8	30.2	18.1	10.5	7.4	5.7
	70	44.8	32.8	21.7	13.3	9.5	7.4
	95	44.8	34.5	24.4	15.9	11.7	9.2
	120	44.8	35.5	26.1	17.7	13.3	10.6
	150	44.8	36.2	27.4	19.2	14.7	11.8
	185	44.8	36.7	28.4	20.4	15.8	12.9
	240	44.8	37.2	29.4	21.6	17.0	14.0
	300	44.8	37.5	30.0	22.3	17.8	14.7
	400	44.8	37.7	30.4	22.9	18.3	15.3
	2 x 95	44.8	39.4	32.4	24.4	19.3	15.9
	2 x 120	44.8	39.8	33.6	26.1	21.2	17.7
	2 x 150	44.8	40.2	34.4	27.4	22.6	19.2
	2 x 185	44.8	40.5	35.1	28.4	23.8	20.4
	2 x 240	44.8	40.7	35.6	29.4	24.9	21.6
	2 x 300	44.8	40.9	36.0	30.0	25.6	22.3
	2 x 400	44.8	41.0	36.3	30.4	26.1	22.9
	3 x 185	44.8	41.8	37.9	32.6	28.4	25.2
	3 x 240	44.8	42.0	38.3	33.3	29.4	26.2
	3 x 300	44.8	42.1	38.6	33.7	30.0	26.9
	3 x 400	44.8	42.2	38.8	34.1	30.4	27.4

ตาราง S – 2 (ต่อ)
กระแสลัดวงจรสมมาตรสามเฟส ที่ 400 V ใน หน่วย kA

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ขนาดสาย (mm²)	ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (เมตร)					
		0	10	25	50	75	100
2500	16	55.1	17.3	7.6	3.9	2.6	2.0
	25	55.1	24.0	11.3	5.9	4.0	3.0
	35	55.1	29.2	14.9	8.1	5.5	4.2
	50	55.1	34.1	19.3	10.9	7.5	5.7
	70	55.1	37.8	23.5	13.9	9.8	7.6
	95	55.1	40.3	26.9	16.8	12.1	9.5
	120	55.1	41.6	29.2	18.9	13.9	11.0
	150	55.1	42.6	30.9	20.7	15.5	12.4
	185	55.1	43.3	32.2	22.2	16.8	13.6
	240	55.1	44.0	33.4	23.6	18.2	14.8
	300	55.1	44.5	34.2	24.6	19.2	15.7
	400	55.1	44.8	34.8	25.3	19.8	16.3
	2 x 95	55.1	47.1	37.4	26.9	20.8	16.38
	2 x 120	55.1	47.8	39.0	29.2	23.0	18.9
	2 x 150	55.1	48.3	40.2	30.9	24.9	20.7
	2 x 185	55.1	48.7	41.1	32.2	26.3	22.2
	2 x 240	55.1	49.0	41.9	33.4	27.7	23.6
	2 x 300	55.1	49.3	42.4	34.2	28.6	24.6
	2 x 400	55.1	49.4	42.8	34.8	29.3	25.3
	3 x 185	55.1	50.7	45.0	37.7	32.2	28.0
	3 x 240	55.1	50.9	45.6	38.7	33.4	29.4
	3 x 300	55.1	51.1	46.0	39.3	34.2	30.3
	3 x 400	55.1	51.2	46.2	39.7	34.8	30.9

เอกสารอ้างอิง

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์	"คู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า" Bangkok Cable Co., Ltd. 2560
ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์	"การออกแบบระบบไฟฟ้า"
กระทรวงอุตสาหกรรม	มอก 11 – 2553
วสท.	มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556
NEC Art 314	Outlet, Device, Pull, and Junction Boxes, Conduit Bodies Fittings and Handhole Enclosures

No Cable
No Power

sales@bangkokcable.com

www.bangkokcable.com

bangkokcablebcc

@bangkokcablebcc

บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด

สำนักงานใหญ่ :

187/1 ถนนราชดำริ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 0 2651 9221-9, 0 2651 9252-7, 0 2254 4550-9

โทรสาร. 0 2253 6028, 0 2253 5973, 0 2254 3859