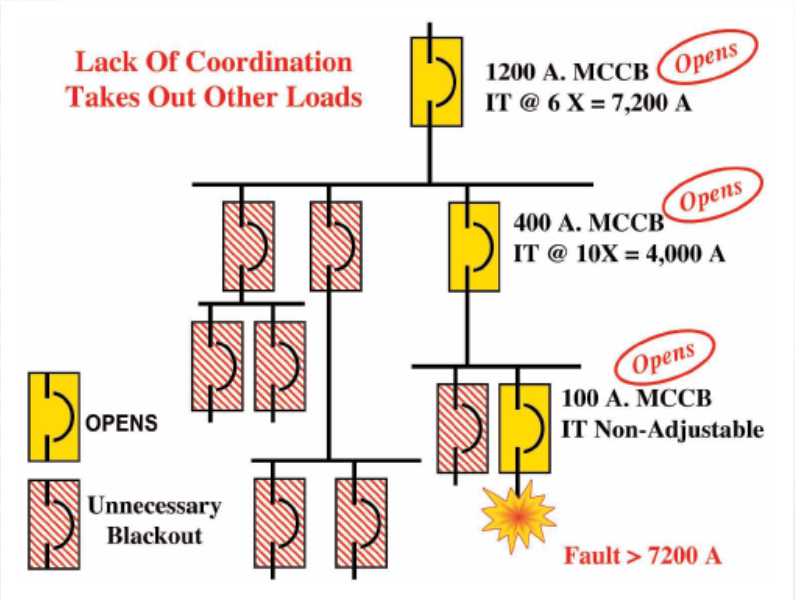
การคำนวณกระแสลัดวงจร

(Short Circuit Calculation)

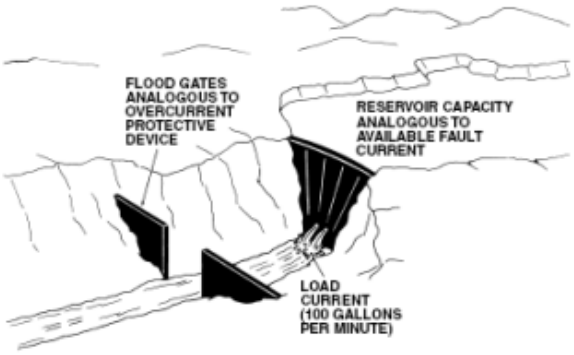
การลัดวงจร (Short Circuit) ในระบบ

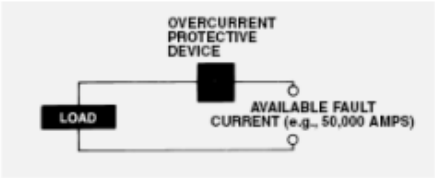


** ต้องคำนึงถึงการ Co ordination อุปกรณ์ป้องกัน **

การลัดวงจร (Short Circuit) ในระบบ

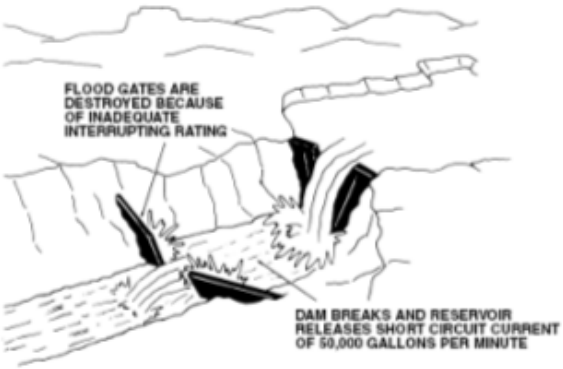
Normal Current Operation

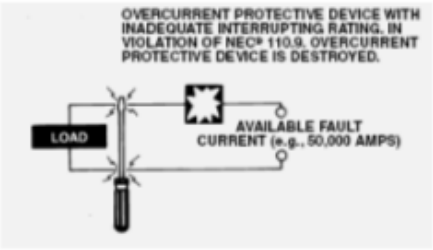




การลัดวงจร (Short Circuit) ในระบบ

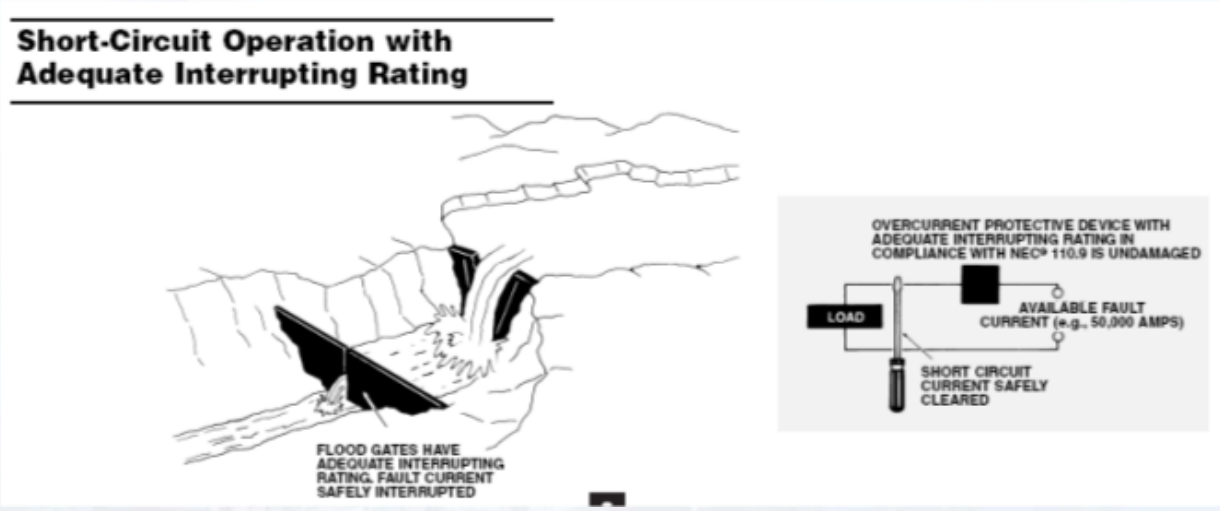
Short-Circuit Operation with Inadequate Interrupting Rating



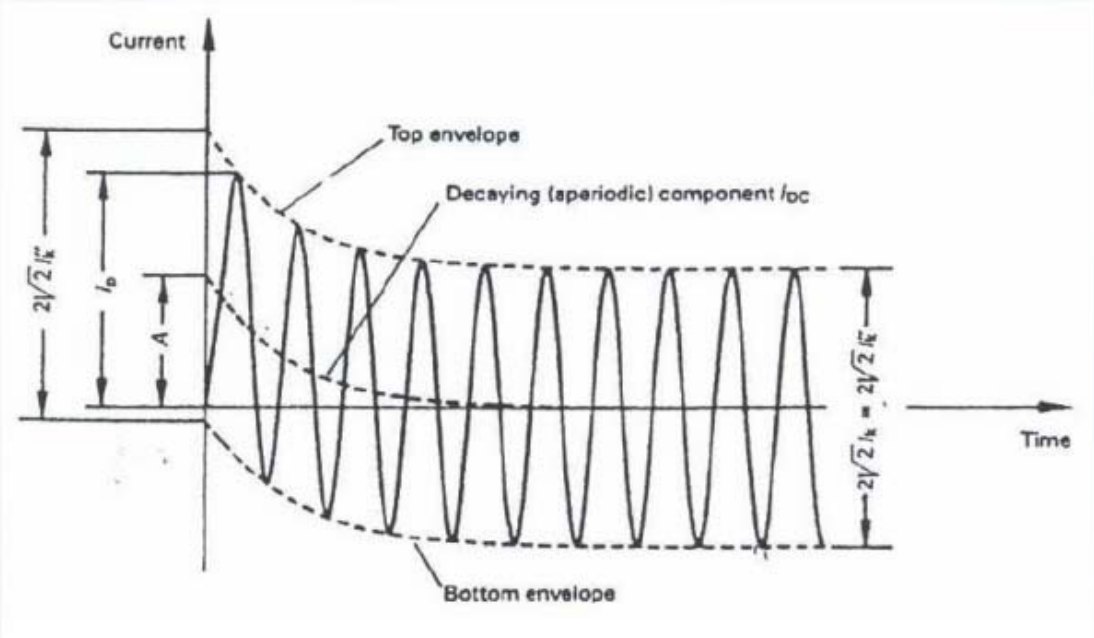


**** ต้องคำนึงถึงค่า Interrupting Rating เสมอ ****

การลัดวงจร (Short Circuit) ในระบบ



ลักษณะรูปคลื่นกระแสลัดวงจร



รูปแบบการลัดวงจรในระบบ

- Line to Ground Fault
- Line to Neutral Fault
- Line to Line Fault
- Double Line to Ground Fault
- Three Phase Fault

รุนแรงที่สุด !!

โอกาสการลัดวงจรในระบบ

- **Line to Ground Fault** = 70 %
- **Line to Line Fault** = 15 %
- **Double Line to Ground Fault** = 10 %
- **Three Phase Fault** = 5 %

ตำแหน่งที่มักเกิดการลัดวงจรในงานระบบไฟฟ้า

- จุดที่ต่อโหลดใช้งาน
- ในท่อร้อยสายไฟฟ้า
- ตู้แผงวงจรย่อย (Panel Board)
- ตู้ MDB (Main Distribution Board)
- หม้อแปลงไฟฟ้า

สาเหตุการลัดวงจรในงานระบบไฟฟ้า

- **ความประมาท + เผลอเรอของมนุษย์**
  - ติดตั้งอุปกรณ์ไม่เรียบร้อยและถูกต้องตามหลักวิชาการ
  - ลืมเครื่องมือทำงานทิ้งไว้
- **ฉนวนของอุปกรณ์เสื่อมสภาพ**
  - ออกแบบไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน
  - หมดอายุการใช้งาน (ใช้งานมานาน) ขนาดการบำรุงรักษาที่ดี

สาเหตุการลัดวงจรในงานระบบไฟฟ้า

- **สัตว์**

  - กัดสายไฟ ทำให้ฉนวนขาด / ชำรุด

  - เข้าไปอยู่ในตู้ควบคุมไฟฟ้า

ผลที่เกิดขึ้น เมื่อเกิดการลัดวงจรในระบบ

- กระแสจะไหลในระบบจำนวนมาก (> 1,000 A) แบบทันทีทันใด
- สายไฟฟ้าจะรับกระแส เกินพิกัด
- อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ รับกระแสเกินพิกัด
- อุปกรณ์ป้องกัน (fuse & Circuit Breaker) อาจเกิดการระเบิดได้ ถ้าพิกัดการทนกระแสลัดวงจรต่ำกว่าค่ากระแสที่เกิดขึ้น

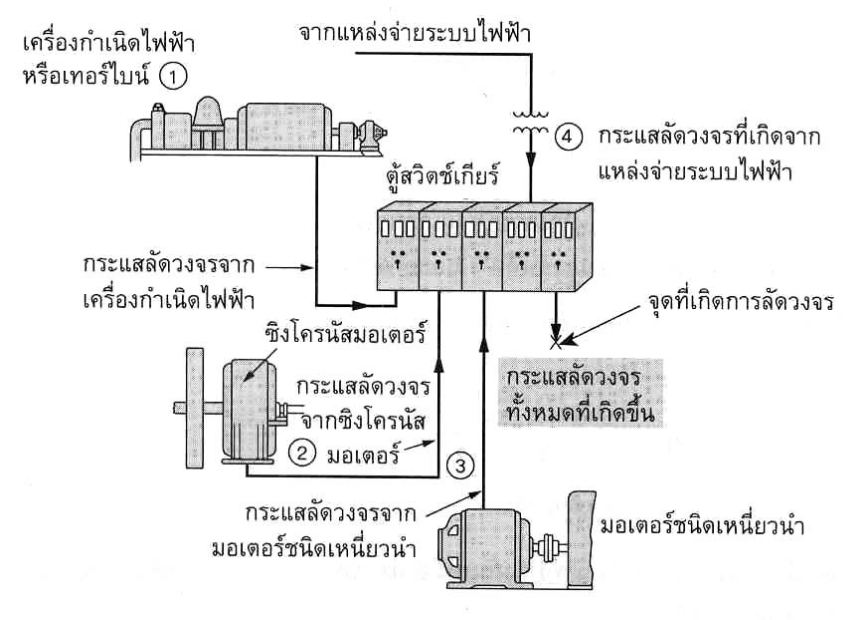
ผลกระทบที่ตามมา หลังการลัดวงจร

- เป็นสาเหตุของเพลิงไหม้
- ระบบไฟฟ้าขาดเสถียรภาพ
  - ไฟฟ้าดับทั้งระบบ ← ส่งผลต่อโหลดข้างเคียง
  - ไฟฟ้าดับบางส่วน
- ระบบการผลิตต้องถูกหยุด → **สูญเสียรายได้**

การแก้ปัญหา

- **คาดการณ์ล่วงหน้า** ← เพิ่มความระมัดระวัง
  - จุดที่ล่อแหลม ที่อาจเกิดสภาวะลัดวงจรได้ง่าย
  - แบ่งโซนป้องกัน
- **ออกแบบ/เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสม**
  - Fuse
  - Circuit Breaker

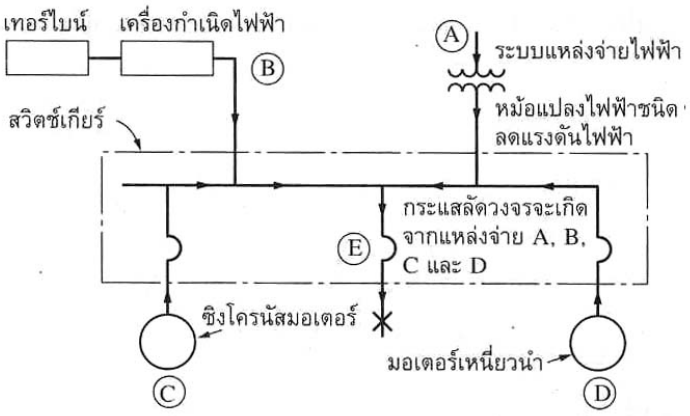
แหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจร

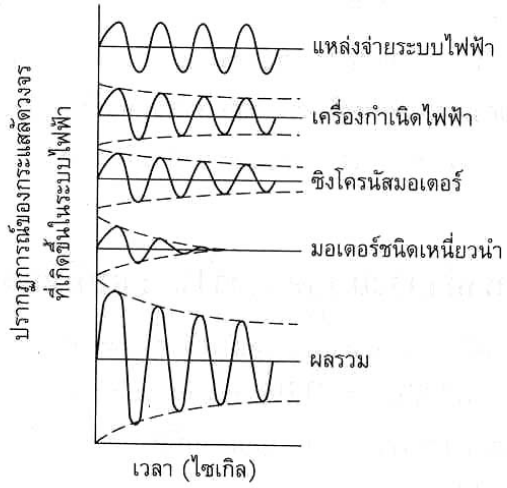


1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2. ซิงโครนัสมอเตอร์
3. อินดัคชั่นมอเตอร์
4. ระบบไฟฟ้า

ขนาดกระแสลัดวงจร

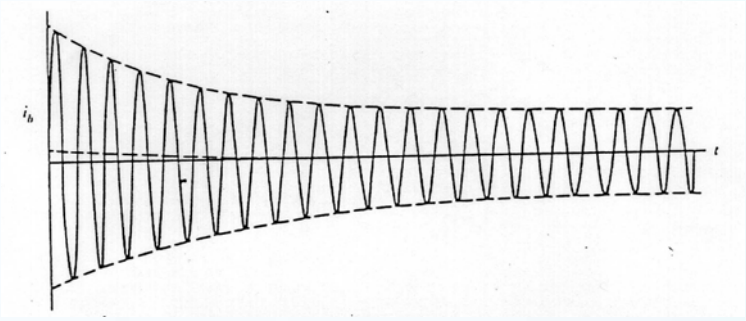
ขนาดกระแสลัดวงจร มีค่าเท่ากับ ผลบวกของกระแสลัดวงจรที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ



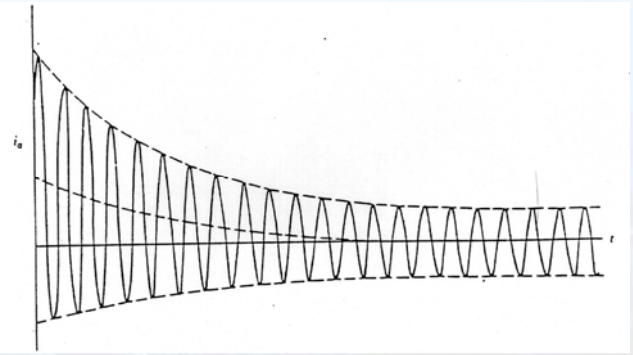


ประเภทของกระแสลัดวงจร

แบบสมมาตร
(Symmetrical)



แบบไม่สมมาตร
(Unsymmetrical)



วิธีการคำนวณกระแสลัดวงจร

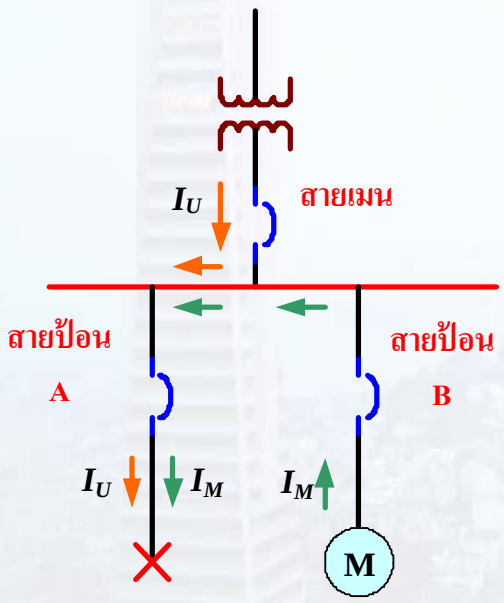
คำนวณโดยวิธีตามมาตรฐาน ***IEC 60909*** แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

- กระแสลัดวงจรที่จุดเซอร์วิสเอนทรานซ์
- กระแสลัดวงจรกรณีเกิดลัดวงจร ณ จุดต่างๆ ในระบบไฟฟ้า

1. กระแสลัดวงจรที่จุดเซอร์วิสเอนทรานซ์

- การหาขนาดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุดบัสบาร์ (ตู้ MDB) ของระบบ
- ใช้หาขนาด IC ของอุปกรณ์ป้องกันตัวเมน และสายป้อน
- เหมาะสำหรับใช้หากระแสลัดวงจร ในระบบที่มีวงจรไม่ซับซ้อน

1. กระแสลัดวงจรที่จุดเซอร์วิสเอนทรานซ์



พบว่า กระแสลัดวงจรเกิดจาก :

- กระแสลัดวงจรจากหม้อแปลงไฟฟ้า (I_U)
- กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ไฟฟ้า (I_M)

กระแสลัดวงจรจากหม้อแปลงไฟฟ้า (I_U)

คำนวณจาก

$$I_U = \frac{100 * I_{FL,Tr}}{\% Z_k}$$

เมื่อ

I_U คือ กระแสลัดวงจรด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง

$I_{FL,Tr}$ คือ กระแสพิกัดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง

$\% Z_k$ คือ อิมพีแดนซ์โวลต์เตจ (Impedance Voltage) ของหม้อแปลง

กระแสพิกัดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง (I_{FL})

คำนวณจาก

$$I_{FL,Tr} = \frac{S}{\sqrt{3}V_L}$$

เมื่อ

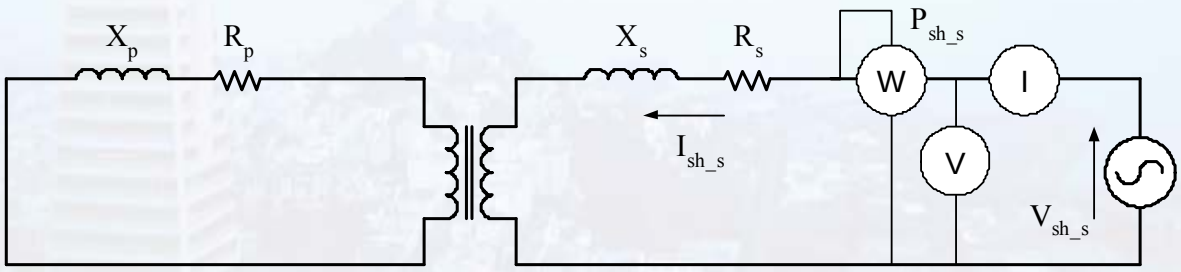
S คือ ขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า (VA)

V_L คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง (V)

(กฟภ. = 400 V ; กฟน. = 416 V)

Impedance Voltage (Z_k)

- แรงดันพิกัด ซึ่งได้จากการทำสอบหม้อแปลงด้วยวิธี Short Circuit Test
- หาค่าได้จากเอกสารของผู้ผลิตหม้อแปลง
- บางผลิตภัณฑ์ใช้ตัวอักษร U_k แทน Z_k



- ค่า Z_k มักบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งหามาจาก

$$\%Z_k = \frac{V_{s/c}(meter)}{V_{rate}} \times 100$$

ตัวอย่าง

ทดสอบการลัดวงจร 22 kV / 416-240 V วัดแรงดันลัดวงจรจาก Voltmeter ได้ 850 V. จะได้

$$\%Z_k = \frac{850}{22000} \times 100 \qquad = 3.86\ \%$$

ค่ามาตรฐานของ Impedance Voltage (Z_k)

SrT [kVA]	ukr [%] CEI 14-4	ukr [%] NFC15-105
1600 < SrT < 3200	6.25	6.50
1250 < SrT < 1600	6.25	6.00
1000 < SrT < 1250	5.00	5.50
800 < SrT < 1000	5.00	5.00
630 < SrT < 800	5.00	4.50
SrT < 630	4.00	4.00

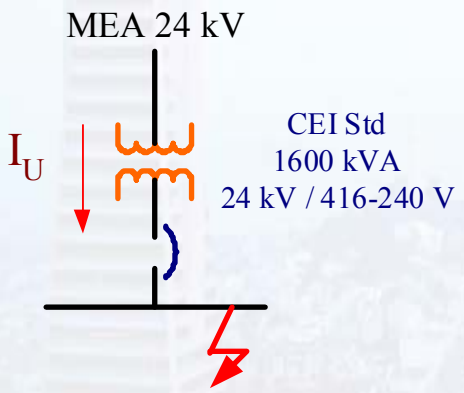
ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า

มาตรฐานประเทศ Italy

มาตรฐานประเทศ France

ตัวอย่าง 1

จงคำนวณหากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น เมื่อหม้อแปลงมีขนาดพิกัด 1600 kVA 24 kV/416-240 V



$$I_{FL,Tr} = \frac{S}{\sqrt{3}V_L}$$

$$= \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 416}$$

$$= 2,221 \text{ A}$$

• หากระแสลัดวงจร (จากหม้อแปลง) ได้จาก

$$I_U = \frac{I_{FL,Tr} \times 100}{\%Z_k}$$

หม้อแปลงมาตรฐาน CEI ใช้ $Z_k = 6.25\ \%$

$$I_U = \frac{2,221 \times 100}{6.25}$$

$$= 35,536 \text{ A.} \qquad \square\ 36 \text{ kA.}$$

ควรเลือก CB ที่มีค่า IC > 36 kA → 35 kA หรือ 42 kA

(3 เฟส) (1 เฟส)

กระแสเสริมจากมอเตอร์ไฟฟ้า (I_M)

• เมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้า มอเตอร์ประเภท อซิงโครนัส (Asynchronous Motor) จะจ่ายกระแสเสริมเข้าไปในระบบ

↓

ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรรวม มีค่าสูงขึ้น

พบว่า

ขนาดกระแสเสริมจากมอเตอร์จะมีค่าประมาณ 4 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

• ขนาดกระแสเสริมจากมอเตอร์ไฟฟ้า คำนวณจาก

$$I_M = 4 \times I_{FL,M}$$

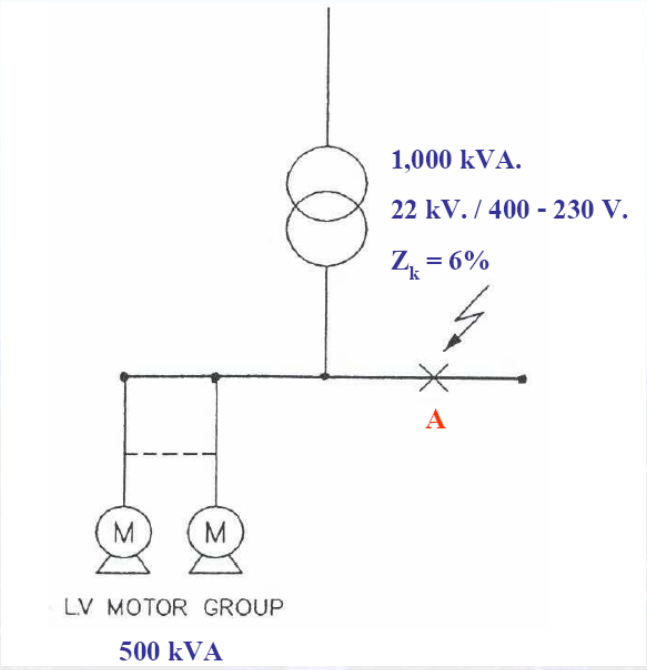
เมื่อ

I_M คือ กระแสเสริมจากมอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร (A)

$I_{FL,M}$ คือ กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ (A)

ตัวอย่างที่ 2

จงคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจรที่จุด A เมื่อเกิดลัดวงจรที่ Bus Bar ในตู้ MDB



• กระแสลัดวงจรจากหม้อแปลงไฟฟ้า (I_U)

$$I_{FL,Tr} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L}$$

$$= \frac{1,000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= 1,443 \text{ A.}$$

$$I_U = \frac{I_{FL,Tr} \times 100}{\%Z_k}$$

$$= \frac{1,443 \times 100}{6.0}$$

$$= 24,050 \text{ A.}$$

$$= 24.05 \text{ kA.}$$

• กระแสเสริมจากมอเตอร์ไฟฟ้า (I_M)

$$I_{FL,M} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= 722 \text{ A.}$$

จะได้

$$I_M = 4 \times I_{FL,M} = 4 \times 722$$

$$= 2,888 \text{ A.}$$

$$= 2.89 \text{ kA.}$$

• ขนาดกระแสลัดวงจรที่จุด A เท่ากับ

$$I_{SC} = I_U + I_M$$

จะได้ $I_{SC} = 24.05 + 2.89$

$= 26.94 \text{ kA}$

2. กระแสลัดวงจรที่จุดใดๆ ในระบบไฟฟ้า

• ใช้สำหรับหาค่าพิกัดทนกระแสลัดวงจร (Interupting Capacity, IC) ของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทุกตัว ในระบบไฟฟ้า

ค่าคำนวณได้คือ

ค่ากระแสลัดวงจรแบบสมมาตร 3 เฟส

↑

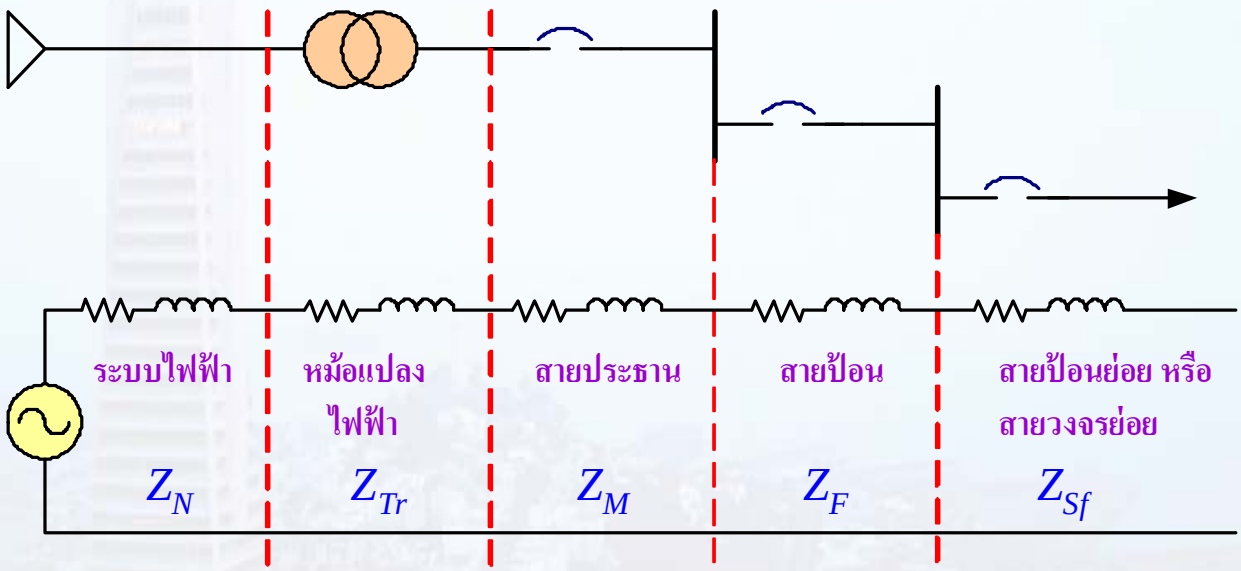
เป็นกระแสลัดวงจรที่มีขนาดมากที่สุด ถ้าอุปกรณ์ทนได้ ก็จะปลอดภัยที่สุด

ขั้นตอนคำนวณ กระแสลัดวงจรที่จุดใดๆ ในระบบไฟฟ้า

1. เขียนแผนภาพอิมพีแดนซ์ (Impedance Diagram)
2. กำหนดค่าอิมพีแดนซ์ในส่วนต่างๆ

- ระบบไฟฟ้า
- หม้อแปลงไฟฟ้า
- สายเมน
- สายป้อน
- สายป้อนย่อย
- สายวงจรย่อย

แผนภาพอิมพีแดนซ์ (Impedance Diagram)



• กระแสลัดวงจร คำนวณจาก

$$I_{SC} = \frac{V_L}{\sqrt{3} \cdot Z_t}$$

เมื่อ

I_{SC} คือ กระแสลัดวงจรสมมาตร 3 เฟส

V_L คือ แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลง

(กฟภ. = 400 V ; กฟน. = 416 V)

Z_t คือ อิมพีแดนซ์รวม ขณะเกิดลัดวงจร

อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า (Z_N)

จาก IEC 60909 ค่า Z_N หาได้จาก

$$Z_N = \frac{cV^2}{MVA_{SC}} \times \frac{1}{t_r^{\,2}}$$

เมื่อ

Z_N คือ อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า

c คือ ค่าคงที่แรงดัน (Voltage Factor)

V คือ แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง (แรงสูง)

MVA_{SC} คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าลัดวงจรของระบบไฟฟ้า

t_r คือ อัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลง (Turn Ratio)

ตารางค่าคงที่ *c* (Voltage Factor) ของ IEC 60909

Normal Voltage	Voltage Factor c for the calculation of	
	Maximum short circuit current c_{max}	Minimum short circuit current c_{min}
Low Voltage 100 to 1,000 V. (IEC Publication 38 ,Table I) a.) 230 V. / 400 V. b.) Other voltages	 1.00 1.05	 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

พิกัดกระแสลัดวงจร (MVA_{SC})

สามารถหาค่าได้จากระดับแรงดันของระบบที่พิจารณา

1. ระดับแรงดันไม่เกิน 24 kV

   - ค่า MVA_{SC} = **500 MVA**

2. ระดับแรงดันมากกว่า 24 kV

   - ค่า MVA_{SC} = **1,000 MVA**

Std. IEC & CEI

การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)

- ระบบ 24 kV / 416-240 V → $MVA_{SC} = 500\ \text{MVA}$

จะได้

$$Z_N = \frac{cV^2}{MVA_{SC}} \times \frac{1}{t_r^{\,2}}$$

$$Z_N = \frac{1.1 \times \left(24 \times 10^3\right)^2}{500 \times 10^6} \times \left(\frac{416}{24 \times 10^3}\right)^2$$

$$= 0.3807\ \ \text{m}\Omega$$

การไฟฟ้าภูมิภาค (กฟภ.)

- ระบบ 22 kV / 400-230 V → $MVA_{SC} = 500\ \text{MVA}$

จะได้

$$Z_N = \frac{cV^2}{MVA_{SC}} \times \frac{1}{t_r^{\,2}}$$

$$Z_N = \frac{1.1 \times \left(22 \times 10^3\right)^2}{500 \times 10^6} \times \left(\frac{400}{22 \times 10^3}\right)^2$$

$$= 0.3520\ \ \text{m}\Omega$$

ค่า R_N และ X_N ของระบบไฟฟ้า

จาก $$Z_N = R_N + jX_N$$

หาได้จาก

$$X_N = 0.995 \times Z_N$$

$$R_N = 0.1 \times X_N$$

ตาราง สรุปค่าอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้า	พิกัดกำลังไฟฟ้า (MVA_{SC})	Z_N (mΩ)	X_N (mΩ)	R_N (mΩ)
22 kV / 400-230 V	500	0.3520	0.3502	0.0350
24 kV / 416-240 V	500	0.3807	0.3788	0.0379

อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (Z_{Tr})

- คำนวณได้จากข้อมูลพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังสมการ :

$$Z_{Tr} = \frac{\%Z_k \times V_L^{\ 2}}{S_{Tr} \times 100}$$

และจากการทดสอบแบบลัดวงจร จะได้

$$R_{Tr} = \frac{P_{cu,loss}}{3 \times \left(I_{FL,Tr}\right)^2}$$

$$X_{Tr} = \sqrt{Z_{Tr}^{\ 2} - R_{Tr}^{\ 2}}$$

เมื่อพารามิเตอร์ต่างๆ มีความหมายดังนี้ :

Z_{Tr} คือ อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

R_{Tr} คือ ความต้านทานของหม้อแปลงไฟฟ้า

X_{Tr} คือ รีแอคแทนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

V_L คือ แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้า

$P_{cu,loss}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ค่า $P_{cu,loss}$ ตามมาตรฐาน UNEL 21001-74 [I] และ DIN 42500

STr [kVA]	Pcu,loss [W]
25	700
50	1100
100	1750
160	2350
250	3250
400	4600
630	6500

ค่า $P_{cu,loss}$ ตามมาตรฐาน NFC 15-105[P]

$$P_{cu,loss}[W] = 3 \times (\%Z_k) \times (S_{Tr}[kVA])$$

ตัวอย่าง 3

จงหาค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า มาตรฐาน NFC ขนาดพิกัด 1,600 kVA ระบบไฟฟ้า 22 kV/400-230 V.

วิธีทำ หาค่ากระแสพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$I_{FL,Tr} = \frac{S}{\sqrt{3}V_L} = \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= 2,309 \text{ A}$$

• หาขนาด $\%Z_k$

SrT [kVA]	ukr [%] CEI 14-4	ukr [%] NFC15-105
1600 < SrT < 3200	6.25	6.50
1250 < SrT < 1600	6.25	6.00
1000 < SrT < 1250	5.00	5.50
800 < SrT < 1000	5.00	5.00
630 < SrT < 800	5.00	4.50
SrT < 630	4.00	4.00

หม้อแปลงขนาด 1,600 kVA → ใช้ค่า $\%Z_K = 6.00\ \%$

• หาขนาด $P_{cu,loss}$ จาก

$$P_{cu,loss}[W] = 3 \times (\%Z_k) \times (S_{Tr}[kVA])$$

จะได้

$$P_{cu,loss} = 3 \times 6.0 \times 1600$$

$$= 28,800 \ \text{W}$$

$$= 28.8 \ \text{kW}$$

• หาค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า จาก

$$Z_{Tr} = \frac{\%Z_k \times V_L^{\ 2}}{S_{Tr} \times 100}$$

$$= \frac{6 \times (400)^2}{(1600 \times 10^3) \times 100}$$

$$= 6.00 \ \ \mathrm{m\Omega}$$

• หาค่าความต้านทานของหม้อแปลงไฟฟ้า จาก

$$R_{Tr} = \frac{P_{cu,loss}}{3 \times (I_{FL,Tr})^2} \quad = \frac{28,800}{3 \times (2,309)^2} \quad = 1.8006 \ \ \mathrm{m\Omega}$$

• หาค่าความรีแอคแตนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า จาก

$$X_{Tr} = \sqrt{Z_{Tr}^{\ 2} - R_{Tr}^{\ 2}} \quad = \sqrt{(6.0)^2 - (1.8006)^2} \quad \mathrm{m\Omega}$$

$$= 5.7234 \ \ \mathrm{m\Omega}$$

อิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้า (Z_M, Z_F, Z_{Sf})

- หาได้จากตารางข้อมูล ค่า R และ X ของสายไฟฟ้าแต่ละชนิด
- ค่าที่ใช้ พิจารณาที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C

สาย THW

40 ^{o}C

ขนาดสายไฟ (ตร.มม.)	R	X_L	
	ความต้านทานกระแสสลับที่ 40 ^{o}C (มิลลิโอห์ม / ม.)	รีแอคแตนซ์ในท่อโลหะ (มิลลิโอห์ม / ม.)	รีแอคแตนซ์ในท่อโลหะหรือเป็นเคเบิล (มิลลิโอห์ม / ม.)
0.5	38.7580	0.1423	0.1778
1	19.4867	0.1266	0.1583
1.5	13.0270	0.1195	0.1494
2.5	7.9776	0.1101	0.1377
4	4.9632	0.1069	0.1336
6	3.3159	0.1027	0.1284
10	1.9702	0.0998	0.1249
16	1.2381	0.0951	0.1189
25	0.7828	0.0946	0.1183
35	0.5647	0.0872	0.1083
50	0.4174	0.0867	0.1090
70	0.2899	0.0843	0.1054
95	0.2099	0.0835	0.1043
120	0.1674	0.0800	0.1000
150	0.1368	0.0797	0.0996
185	0.1108	0.0795	0.0994
240	0.0863	0.0779	0.0974
300	0.0701	0.0774	0.0967
400	0.0583	0.0772	0.0965
500	0.0486	0.0766	0.0957

R และ *X* ของบัสเวย์ (Bus Way)

พิกัดกระแส (แอมแปร์)	ชนิดตัวนำทองแดง			ชนิดตัวนำอะลูมิเนียม		
	ความต้านทาน (mΩ / m.)	รีแอคแตนซ์ (mΩ / m.)	อิมพีแดนซ์ (mΩ / m.)	ความต้านทาน (mΩ / m.)	รีแอคแตนซ์ (mΩ / m.)	อิมพีแดนซ์ (mΩ / m.)
225	0.0806	0.0626	0.1064	0.1306	0.0472	0.1389
400	0.0446	0.0596	0.0744	0.0620	0.0590	0.0856
600	0.0370	0.0590	0.0744	0.0620	0.0590	0.0586
800	0.0344	0.0519	0.0623	0.0394	0.0344	0.0523
1,000	0.0233	0.0344	0.0415	0.0262	0.0219	0.0341
1,200	0.0180	0.0248	0.0306	0.0236	0.0202	0.0311
1,350	0.0131	0.0197	0.0237	0.0213	0.0191	0.0286
1,600	0.0118	0.0186	0.0220	0.0180	0.0169	0.0247
2,000	0.0108	0.0169	0.0201	0.0177	0.0133	0.0221
2,500	0.0105	0.0169	0.0199	0.0177	0.0093	0.0200
3,000	0.0098	0.0169	0.0195	0.0177	0.0049	0.0184
4,000	0.0098	0.0169	0.0195	-	-	-
5,000	0.0065	0.0106	0.0124	-	-	-

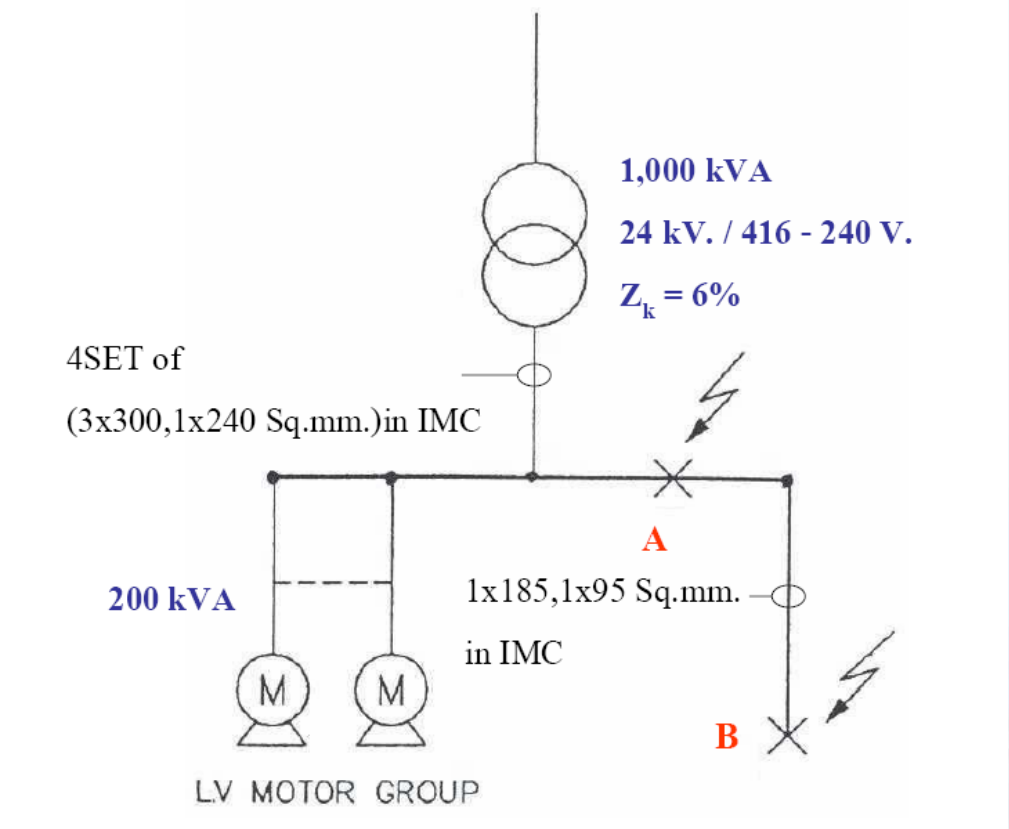
ตัวอย่างที่ 4

จากวงจรในรูป ระบบอยู่ในเขตจำหน่ายของ กฟน. 24 kV/416-240 V พิกัดกำลังไฟฟ้าลัดวงจร 500 MVA

กำหนดให้ สายประธานแรงต่ำจากหม้อแปลงไฟฟ้าถึงตู้ MDB ใช้สายขนาด 4 set of (3x300 mm^2, 1x240 mm^2(N) THW) ในท่อ IMC ระยะทาง 30 เมตร และ สายป้อนจากตู้ MDB ถึงจุดเกิดลัดวงจรใช้สายขนาด 3x185 mm^2, 1x95 mm^2 (N) THW ในท่อ IMC ระยะทาง 50 เมตร

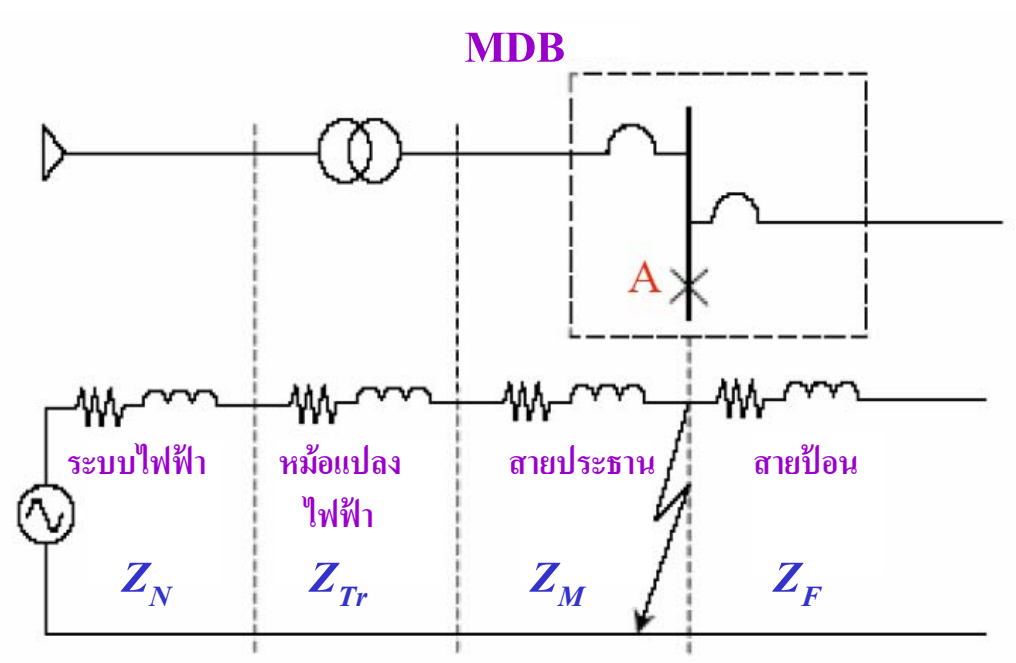
จงคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรที่คาดว่าอาจจะเกิดขึ้นที่

- จุด A (ในตู้ MDB)
- จุด B (ที่บริเวณสายป้อน)



กรณีที่ 1 เกิดลัดวงจรที่จุด A

- เขียนแผนภาพอิมพีแดนซ์ แสดงส่วนต่างๆ ของวงจร (ถึงจุด A)



• **หาค่าอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า (Z_N)**

ระบบไฟฟ้า	พิกัดกำลังไฟฟ้า (MVA_{SC})	Z_N	X_N	R_N
22 kV / 400-230 V	500	0.3520	0.3502	0.0350
24 kV / 416-240 V	500	0.3807	0.3788	0.0379

ระบบ กฟน. 24 kV/416-240 V จะได้ Z_N เท่ากับ

$$Z_N = 0.0379 + j0.3788$$

• **หาค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (Z_{Tr})**

โจทย์ไม่บอกค่า $P_{cu,loss}$ มาให้ อาจหาขนาด $P_{cu,loss}$ จาก

$$P_{cu,loss}[W] = 3 \times (\%Z_k) \times (S_{Tr}[kVA])$$

จะได้

$$P_{cu,loss} = 3 \times 6.0 \times 1000$$

$$= 18,000 \text{ W}$$

$$= 18.0 \text{ kW}$$

• หาค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า จาก

$$Z_{Tr} = \frac{\%Z_k \times V_L^{\ 2}}{S_{Tr} \times 100}$$

$$= \frac{6 \times (416)^2}{(1000 \times 10^3) \times 100}$$

$$= 10.3834 \ \ \text{m}\Omega$$

• หาค่าความต้านทานของหม้อแปลงไฟฟ้า จาก

$$R_{Tr} = \frac{P_{cu,loss}}{3 \times (I_{FL,Tr})^2}$$

$$= \frac{18,000}{3 \times (1,388)^2}$$

$$= 3.1144 \ \ \text{m}\Omega$$

$$I_{FL,Tr} = \frac{S}{\sqrt{3} V_L}$$

$$= \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 416}$$

$$= 1,388 \ \text{A}$$

• หาค่าความรีแอคแทนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า จาก

$$X_{Tr} = \sqrt{Z_{Tr}^{\ 2} - R_{Tr}^{\ 2}}$$

$$= \sqrt{(10.3834)^2 - (3.1144)^2} \quad \text{m}\Omega$$

$$= 9.9053 \ \ \text{m}\Omega$$

❖ เขียนค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง เป็นจำนวนเชิงซ้อนได้เป็น

$$Z_{Tr} = 3.1144 + j9.9053 \qquad \text{m}\Omega$$

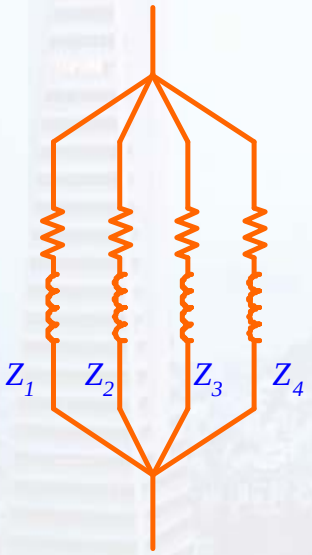
สายประธาน

สายประธานขนาด 4 set of (3x300 mm^2, 1x240 mm^2(N) THW) ในท่อ IMC หมายถึง เดินสายจากหม้อแปลงไปตู้ MDB ด้วยสาย มอก.11-2531 ตารางที่ 4 แยกเป็น 4 ท่อ

แต่ละท่อประกอบด้วยสาย 4 เส้น แยกเป็นสายเฟส (A, B, C) ขนาด 300 mm^2 จำนวน 3 เส้น และสายนิวทรัลขนาด 240 mm^2 จำนวน 1 เส้น รวมเดินสายทั้งหมด 16 เส้น

** เป็นการเดินสายแต่ละเฟส ด้วยสายควบขนาด 300 mm^2 จำนวน 4 เส้น ต่อ เฟส นั่นเอง

• เดินสายควบ เป็นการเดินสายขนาดเดียวกัน และความยาวเท่ากัน (ค่าอิมพีแดนซ์เท่ากัน) ขนานกัน



$$Z = Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4$$

จะได้ค่าอิมพีแดนซ์สายประธานเป็น :

$$Z_M = Z // Z // Z // Z = \frac{Z}{4}$$

$$= \left(\frac{R}{4}\right) + j\left(\frac{X_L}{4}\right)$$

สายขนาด 300 mm^2

$R =$ 0.0701 mΩ/m

$X_L =$ 0.0967 mΩ/m

ขนาดสายไฟ (ตร.มม.)	R ความต้านทานกระแสสลับที่ 40 °C (มิลลิโอห์ม / ม.)	X_L รีแอคแตนซ์ในท่อโลหะ (มิลลิโอห์ม / ม.)	X_L รีแอคแตนซ์ในท่อโลหะหรือเป็นเคเบิล (มิลลิโอห์ม / ม.)
0.5	38.7580	0.1423	0.1778
1	19.4867	0.1266	0.1583
1.5	13.0270	0.1195	0.1494
2.5	7.9776	0.1101	0.1377
4	4.9632	0.1069	0.1336
6	3.3159	0.1027	0.1284
10	1.9702	0.0998	0.1249
16	1.2381	0.0951	0.1189
25	0.7828	0.0946	0.1183
35	0.5647	0.0872	0.1083
50	0.4174	0.0867	0.1090
70	0.2899	0.0843	0.1054
95	0.2099	0.0835	0.1043
120	0.1674	0.0800	0.1000
150	0.1368	0.0797	0.0996
185	0.1108	0.0795	0.0994
240	0.0863	0.0779	0.0974
300	0.0701	0.0774	0.0967
400	0.0583	0.0772	0.0965
500	0.0486	0.0766	0.0957

• สายยาว 30 เมตร และควบกัน 4 เส้น จะได้

$$R = 0.0701 \times 30$$
$$= 2.103 \text{ m}\Omega$$

$$X_L = 0.0967 \times 30$$
$$= 2.901 \text{ m}\Omega$$

❖ จะได้ค่าอิมพีแดนซ์สายประธาน (Z_M) เท่ากับ

$$Z_M = \frac{1}{4}(2.103 + j2.901)$$

$$= 0.5258 + j0.7253 \text{ m}\Omega$$

• รวมค่าอิมพีแดนซ์ถึงจุดลัดวงจร A

$$Z_t = Z_N + Z_{Tr} + Z_M$$

$$= (0.0379 + j0.3788) + (3.1144 + j9.9053) + (0.5258 + j0.7253)$$

$$= 3.6781 + j11.0094$$

➢ คำนวณเฉพาะขนาด จะได้

$$Z_t = \sqrt{(3.6781)^2 + (11.0094)^2} \qquad = 11.6076 \text{ m}\Omega$$

• หาขนาดกระแสลัดวงจร

$$I_{SC} = \frac{V_L}{\sqrt{3} \times Z_t}$$

$$= \frac{416}{\sqrt{3} \times \left(11.6076 \times 10^{-3}\right)}$$

$$= 20.69 \ \text{kA}$$

• หาค่ากระแสเสริมจากมอเตอร์ไฟฟ้า

- กลุ่มของมอเตอร์ขนาด รวม **200 kVA**

$$I_{FL,M} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L}$$

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

$$= 303.87 \ \text{A}$$

$$I_M = 4 \times I_{FL,M}$$

$$= 4 \times 303.87$$

$$= 1.22 \ \text{kA}$$

• หาค่ากระแสลัดวงจรทั้งหมด เมื่อเกิดลัดวงจรที่จุด A

กระแสลัดวงจรที่จุด A $= I_{SC} + I_M$

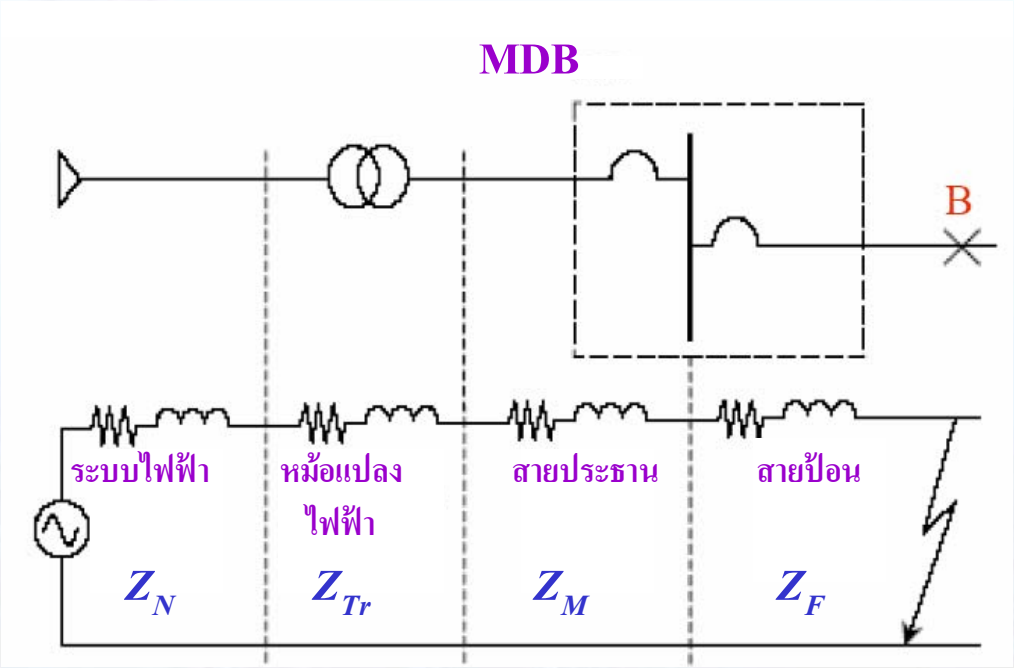
$= 20.69 + 1.22$

$= 21.91$ kA

ควรใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด IC $\geq$ **25 kA (480 V)**

กรณีที่ 2 เกิดลัดวงจรที่จุด B

• เขียนแผนภาพอิมพีแดนซ์ แสดงส่วนต่างๆ ของวงจร (ถึงจุด B)



➢ จากกรณีที่ 1 ได้ค่าอิมพีแดนซ์แต่ละส่วน เท่ากับ

1. ระบบไฟฟ้า 24 kV/416-240 V พิกัดกำลังไฟฟ้าลัดวงจร 500 MVA

$$Z_N = 0.0379 + j0.3788 \quad \text{m}\Omega$$

2. หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1000 kVA

$$Z_{Tr} = 3.1144 + j9.9053 \quad \text{m}\Omega$$

3. สายประธานขนาด 4 set of (3x300mm^2, 1x240mm^2 THW) in IMC

$$Z_M = 0.5258 + j0.7253 \quad \text{m}\Omega$$

สายป้อน (Feeder)

สายป้อนขนาด 3x185 mm^2, 1x95 mm^2 THW ในท่อ IMC

↑

ดูตาราง หาค่า R และ X ของสาย THW ขนาด 185 mm^2

สายขนาด 185 mm^2

$R = 0.1108$ mΩ/m

$X_L = 0.0994$ mΩ/m

ขนาดสายไฟ (ตร.มม.)	R	X_L	
	ความต้านทานกระแสสลับที่ 40 °C (มิลลิโอห์ม / ม.)	รีแอคแตนซ์ในท่อโลหะ (มิลลิโอห์ม / ม.)	รีแอคแตนซ์ในท่อโลหะหรือเป็นเคเบิล (มิลลิโอห์ม / ม.)
0.5	38.7580	0.1423	0.1778
1	19.4867	0.1266	0.1583
1.5	13.0270	0.1195	0.1494
2.5	7.9776	0.1101	0.1377
4	4.9632	0.1069	0.1336
6	3.3159	0.1027	0.1284
10	1.9702	0.0998	0.1249
16	1.2381	0.0951	0.1189
25	0.7828	0.0946	0.1183
35	0.5647	0.0872	0.1083
50	0.4174	0.0867	0.1090
70	0.2899	0.0843	0.1054
95	0.2099	0.0835	0.1043
120	0.1674	0.0800	0.1000
150	0.1368	0.0797	0.0996
185	0.1108	0.0795	0.0994
240	0.0863	0.0779	0.0974
300	0.0701	0.0774	0.0967
400	0.0583	0.0772	0.0965
500	0.0486	0.0766	0.0957

- สายยาว 50 เมตร จะได้

$$R = 0.1108 \times 50 = 5.54 \ \text{m}\Omega$$

$$X_L = 0.0994 \times 50 = 4.97 \ \text{m}\Omega$$

➢ จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายป้อน (Z_F) เท่ากับ

$$Z_F = 5.54 + j4.97 \quad \text{m}\Omega$$

• รวมค่าอิมพีแดนซ์ถึงจุดลัดวงจร

$$Z_t = Z_N + Z_{Tr} + Z_M + Z_F$$

$$= (0.0379 + j0.3788) + (3.1144 + j9.9053) + \ldots$$

$$\ldots + (0.5258 + j0.7253) + (5.54 + j4.97)$$

$$= 9.2181 + j15.9794 \quad \text{m}\Omega$$

คำนวณเฉพาะขนาด จะได้

$$Z_t = \sqrt{(9.2181)^2 + (15.9794)^2} \quad = 18.4476 \ \text{m}\Omega$$

• **หาขนาดกระแสลัดวงจร (I_{SC})**

$$I_{SC} = \frac{V_L}{\sqrt{3} \times Z_t} \qquad = \frac{416}{\sqrt{3} \times (18.4476 \times 10^{-3})}$$

$$= 13.02 \ \text{kA}$$

• **หาค่ากระแสเสริมจากมอเตอร์ไฟฟ้า**

- กลุ่มของมอเตอร์ขนาด รวม 200 kVA

$$I_M = 4 \times I_{FL,M}$$

$$= 4 \times 303.87$$

$$= 1.22 \text{ kA}$$

$$I_{FL,M} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L}$$

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

$$= 303.87 \text{ A}$$

• หาค่ากระแสลัดวงจรทั้งหมด เมื่อเกิดลัดวงจรที่จุด B

กระแสลัดวงจรที่จุด B $= I_{SC} + I_M$

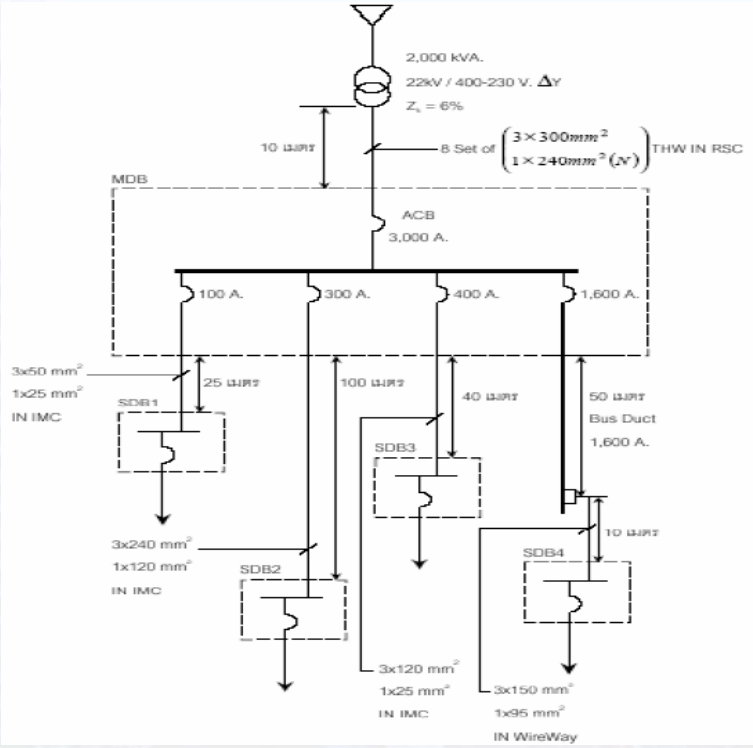
$= 13.02 + 1.22$

$= 14.24$ kA

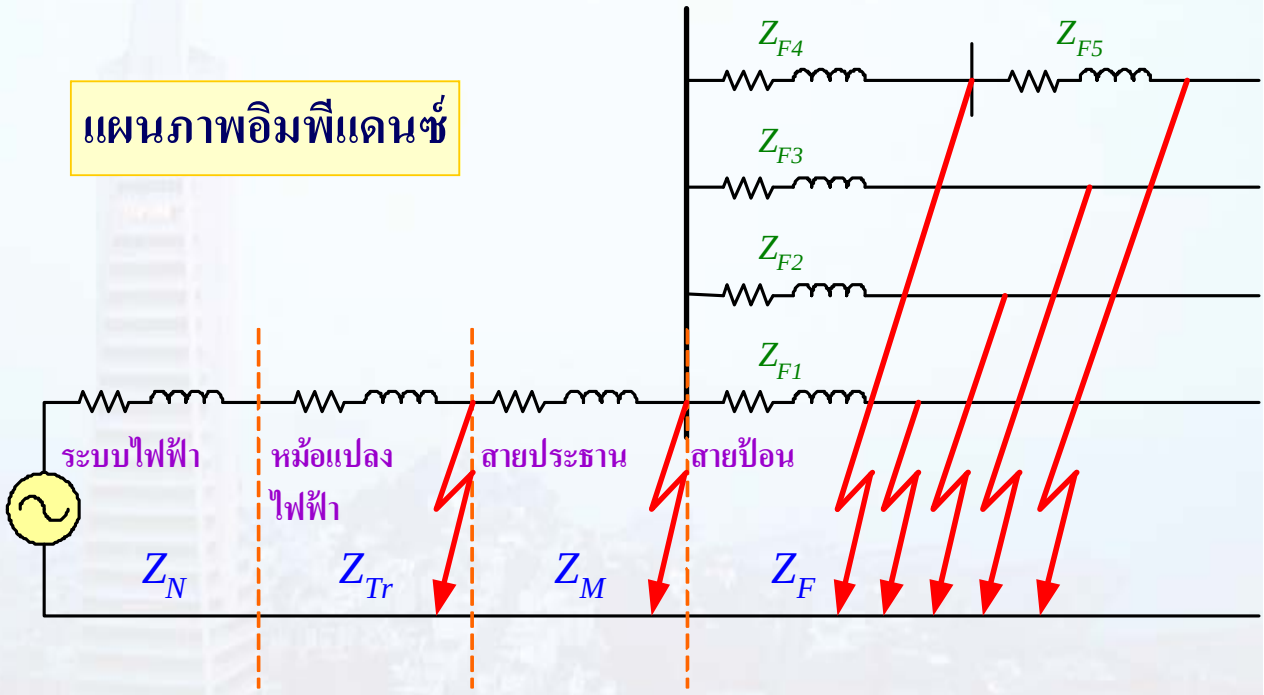
ควรใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด IC $\geq$ 14 kA (480 V)

ตัวอย่าง 5

จงหาค่าพิกัดกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เหมาะสม



แผนภาพอิมพีแดนซ์



END OF SECTION