

การคำนวณ กระแสลัดวงจรและแรงดันตก

ดุยทรศน์ นวลหงษ์

กองวิศวกรรมไฟฟ้า, ฝ่ายวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุม

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

โทร 02-4361817

E-mail: dulyatat.n@egat.co.th

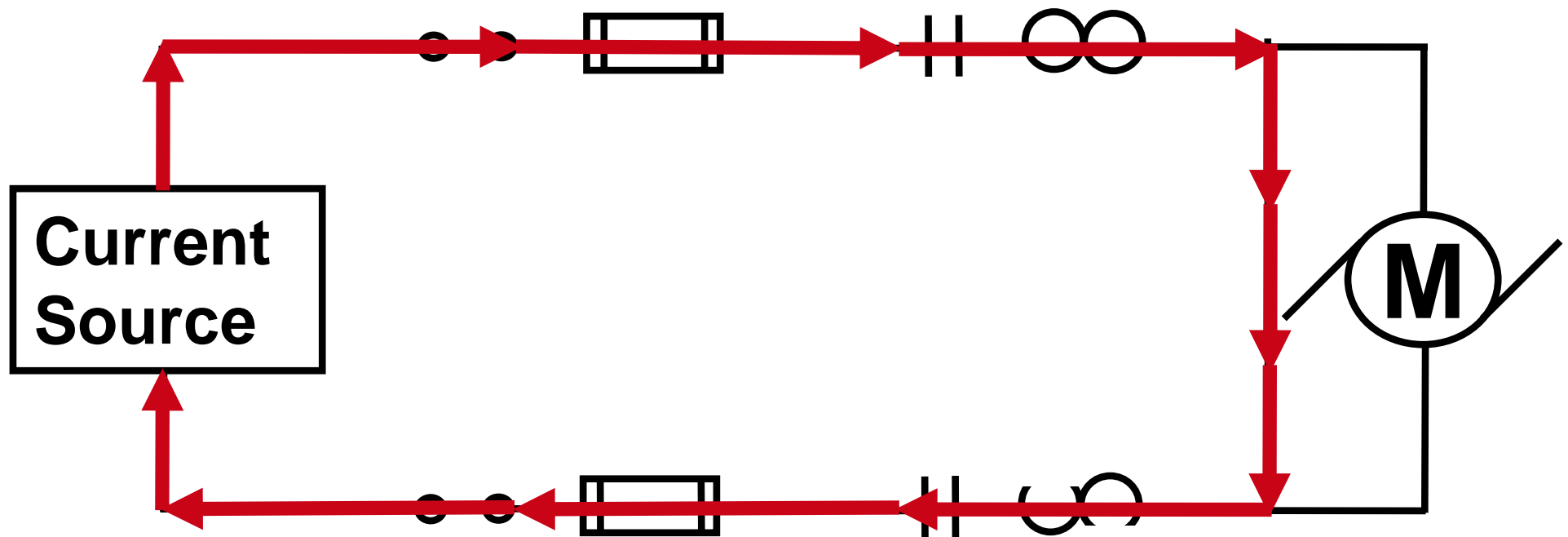


การลัดวงจร

- การที่วงจรไฟฟ้าเกิดความผิดพลาดโดยอุบัติเหตุ หรือ ความไม่ตั้งใจ
- ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรมีค่าลดลง
- ส่งผลให้กระแสไหลมากกว่ากระแสปกติหลายเท่า
- ทำให้เกิด **ความเครียดทางกล (Mechanical Stress)** และ **ความเครียดทางความร้อน (Thermal Stress)** ขึ้น
- ทำให้บริษัทเสียหายและเป็นอันตรายต่อคนได้
ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องดำเนินถึงผลของ
กระแสลัดวงจรเพื่อจะได้ป้องกันความเสียหายที่
อาจจะเกิดขึ้นได้

การหากระแสลัดวงจร

การหากระแสลัดวงจร คือการหากระแสในวงจรเมื่อเกิดการลัดวงจรนั่นเอง โดยค่าอิมพีแดนซ์ในวงจรประกอบด้วยค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์

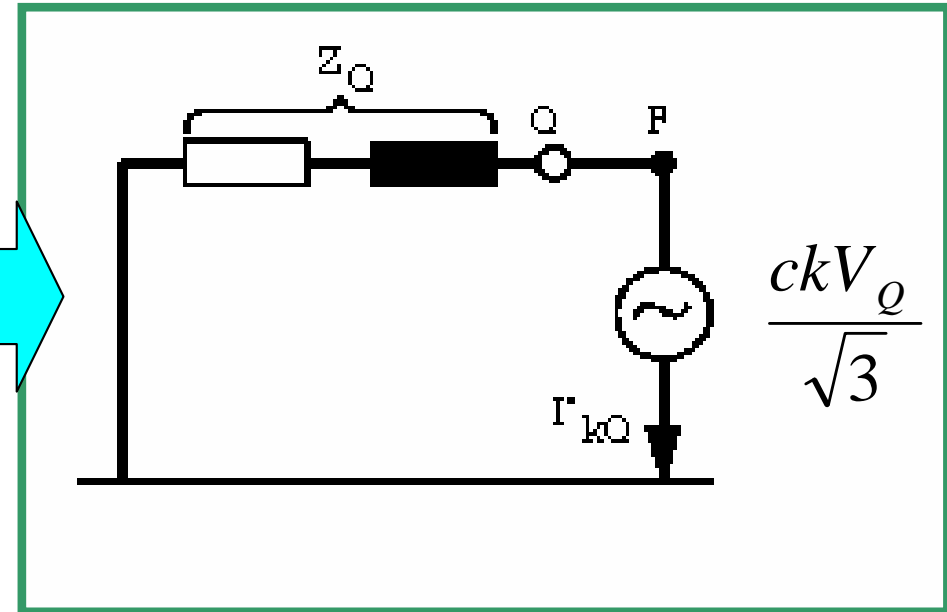
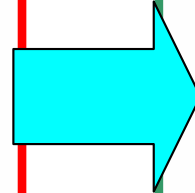
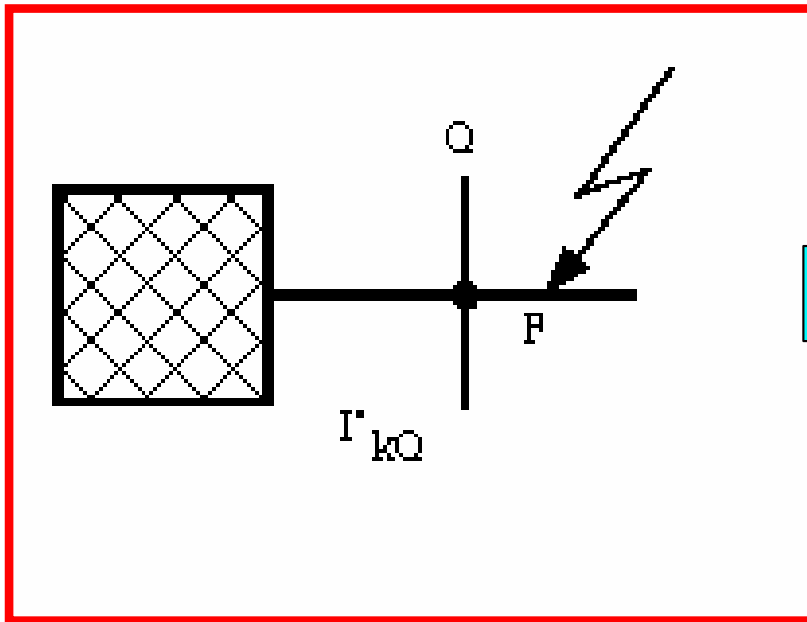


ค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจร

ใช้ในวงจรสมมูลของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา
อาจแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

1. ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า
2. ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง
3. ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวนำ
4. ค่าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์

1. อิมพีแดนซ์สมมูลสำหรับระบบไฟฟ้า



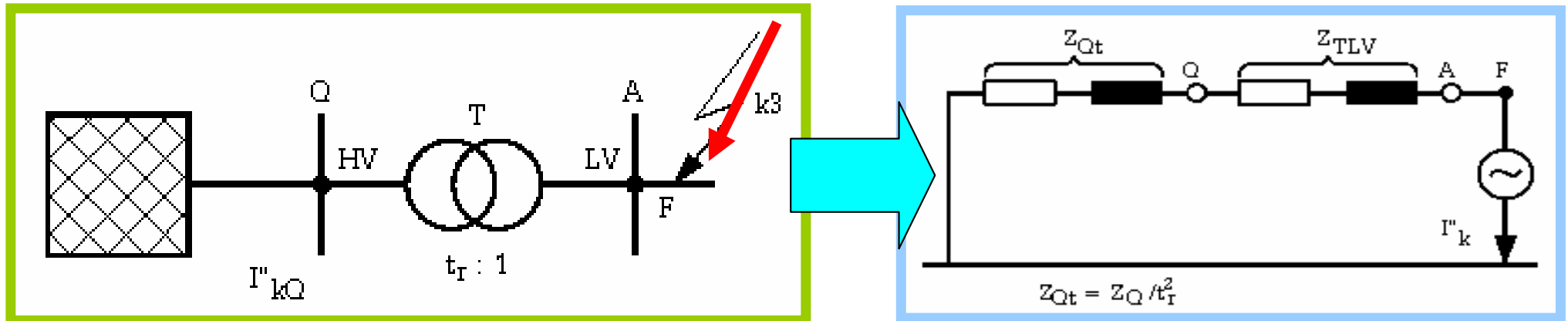
อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า
ที่จุด Q หาได้จาก

$$Z_Q = \frac{c (kV)_Q^2}{MVA_{sc}}$$

กระแสลัดวงจรสมมาตร rms
(I''_{kQ}) ที่จุด Q หาได้จาก

$$I''_{kQ} = \frac{c (kV)_Q}{\sqrt{3} Z_Q}$$

1. อิมพีแดนซ์สมมูลสำหรับระบบไฟฟ้า (ต่อ)



Fault เกิดที่ฝั่ง low volt, ต้องการ transfer Z_Q ผ่านหม้อแปลง

เมื่อ Transfer voltage ผ่านหม้อแปลง จะสามารถหาอิมพีแดนซ์สมมูลของระบบไฟฟ้าได้ดังนี้

$$Z_{Qt} = \frac{c (kV_{HV})_Q^2}{MVA_{sc}} * \frac{(kV_{Tran, LV})^2}{(kV_{Tran, HV})^2}$$

1. อิมพีแดนซ์สมมูลสำหรับระบบไฟฟ้า (ต่อ)

$$Z_Q = \frac{c (kV)_Q^2}{MVA_{sc}}$$

$$Z_{Qt} = \frac{c (kV)_Q^2}{MVA_{sc}} * \left(\frac{1}{t_r^2} \right)$$

kV_Q = แรกดัน line-to-line ของระบบที่จุด Q (kV)

Z_Q = อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า (Ω)

Z_{Qt} = อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้าเมื่อผ่านหม้อแปลง

MVA_{sc} = กำลังลัดวงจรสมมาตร (MVA)

c = ตัวประกอบแรกดัน (แรงต่ำ = 1.0, แรงสูง = 1.1)

t_r = Transformer voltage ratio (HV/LV)

Voltage factor (IEC 909)

Voltage Factor c

This is the factor used to adjust the value of the equivalent voltage source for minimum and maximum current calculations according to the following table:

Nominal Voltage U_n	Voltage Factor c	
	For Maximum Short-Circuit Current Calculation c_{max}	For Minimum Short-Circuit Current Calculation c_{min}
Low voltage: 100 V to 1000 V		
230 V / 400 V	1.00	0.95
Other voltages	1.05	1.00
Medium voltage: > 1 kV to 35 kV	1.10	1.00
High voltage: > 35 kV to 230 kV	1.10	1.00

The c_{max} values given in the above table are used as default values in calculations and the user can set these values from the Short-Circuit Study Case.

1. อิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์สมมูลสำหรับระบบไฟฟ้า

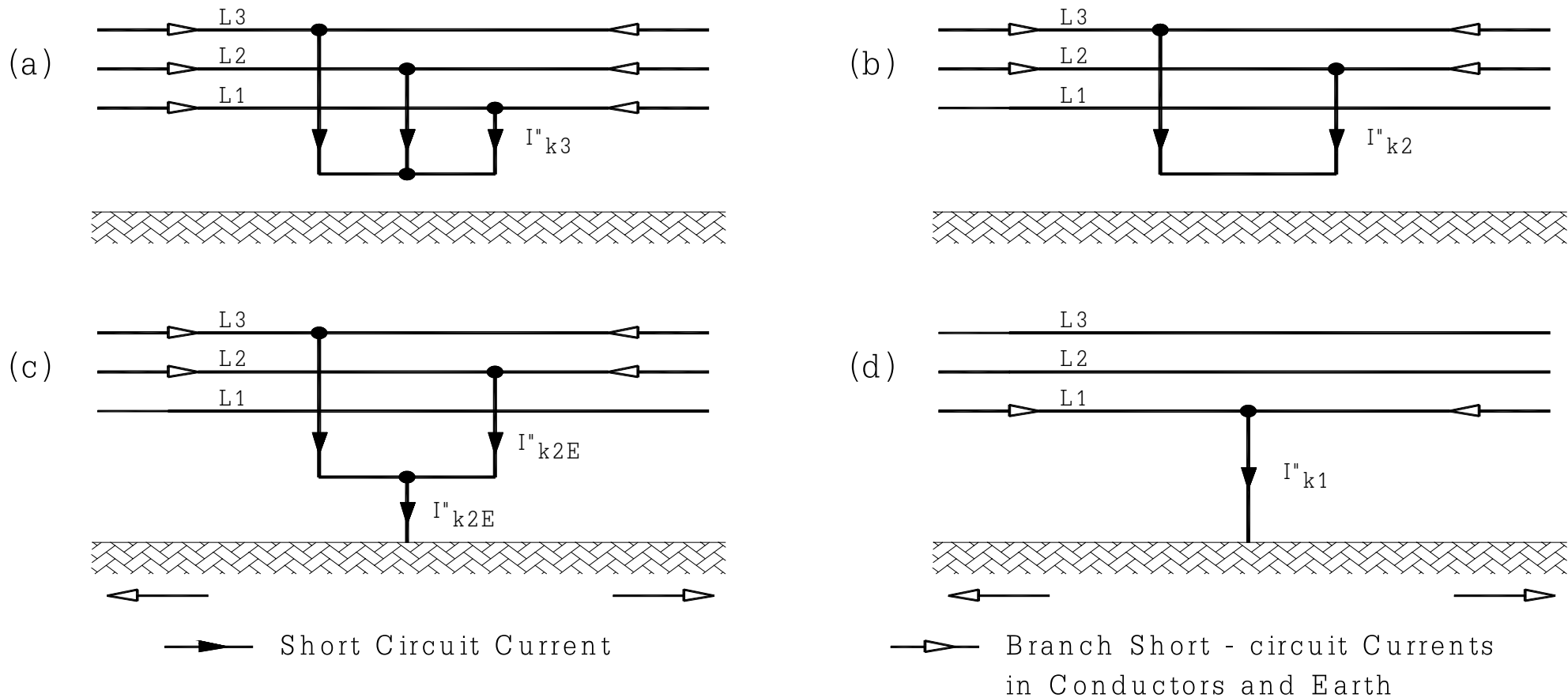
- **IEC 909** แนะนำว่า ถ้าไม่ทราบค่าความต้านทาน R_Q ของระบบไฟฟ้าที่แน่นอนสามารถหาค่าโดยประมาณได้ดังนี้

$$X_Q = 0.995 Z_Q$$

และ

$$R_Q = 0.1 X_Q$$

การลัดวงจรประเภทต่าง ๆ

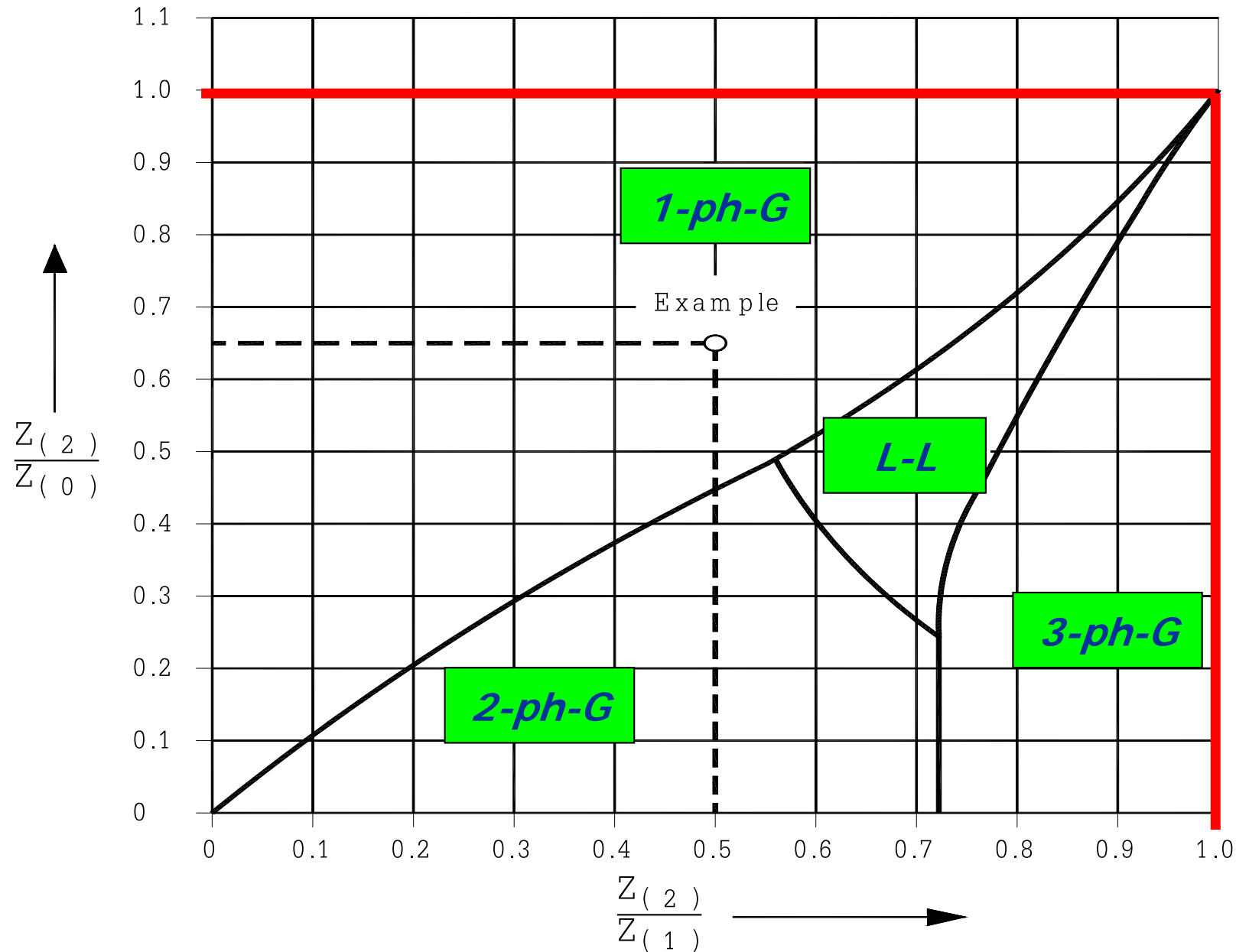


- a) Balance Three Phase Short Circuit.
- b) Line to Line Short Circuit Without Earth Connection.
- c) Line to Line Short Circuit With Earth Connection.
- d) Line to Earth Short Circuit.

การหากระแสลัดวงจรเริ่มต้น (I_k'')

ชนิดของ fault	สูตรคำนวณ
3-ph fault	$I_k'' = \frac{c (kV)}{\sqrt{3}Z_1}$
1-ph to ground	$I_k'' = \frac{\sqrt{3}c (kV)}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$
2-ph to ground	$I_k'' = \frac{\sqrt{3}c (kV)}{Z_1 + Z_0 + Z_0(Z_1 / Z_2)}$
Line-to-line	$I_k'' = \frac{c (kV)}{Z_1 + Z_2}$

กระแสลัดวงจรประเภทใดจะมีค่ามากที่สุด?



2. อิมพีแดนซ์สมมูลสำหรับหม้อแปลง

$$Z_{Tr} = \frac{\% Z (kV)_T^2}{100 MVA_{Tr}}$$

$$R_{Tr} = \frac{P_{Loss}}{3I_{FL}^2}$$

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

Z_{Tr} = อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง (Ω)

R_{Tr} = ความต้านทานของหม้อแปลง (Ω)

X_{Tr} = รีแอกแตนซ์ของหม้อแปลง (Ω)

$\%Z$ = เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ voltage ของหม้อแปลง

MVA_{Tr} = ขนาดหม้อแปลง (MVA)

kV_n = พิกัดแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง (kV)

P_{loss} = ค่ากำลังสูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงไฟฟ้า(kW)

I_{FL} = กระแสโหลดเต็มพิกัดด้านแรงต่ำ (A)

EX หม้อแปลงขนาด 2000 kVA , 22 kV/400-230 V

% Z = 6, P_{loss} = 24 kW, I_{FL} = 2887 A

จงหา Z_{Tr} หม้อแปลงอ้างอิงทางด้านแรงต่ำ

$$Z_{Tr} = \frac{\% Z (kV)_T^2}{100 MVA_{TR}}$$

$$= \frac{6}{100} \times \frac{0.4^2}{2}$$
$$= 4.8 \times 10^{-3} \Omega$$

$$R_{Tr} = \frac{P_{Loss}}{3 I_{FL}^2}$$

$$= \frac{24}{3 \times 2887^2}$$
$$= 0.96 \times 10^{-3} \Omega$$

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

$$= \sqrt{4.8^2 - 0.96^2}$$
$$= 4.7 \times 10^{-3} \Omega$$

ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าแรงต่ำ 400/230 V

พิกัด (kVA)	I_{FL} (A)	% u_k	P_L (kW)	Z_T (m Ω)	R_T (m Ω)	X_T (m Ω)
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	4.8	0.96	0.47
2500	3608	6	26.8	3.84	0.69	3.78

ตัวอย่างการคำนวณ

- หม้อแปลงขนาด 1000 kV, 22kV/400V, %Z=6

จงหาคำนวณหากระแสลัดวงจร I''_k ด้านแรงต่ำเมื่อเชื่อมต่อกับบัสอนันต์

$$Z_{Tr} = \frac{\% Z * c(kV)_T^2}{100 MVA_{TR}} = \frac{6 * 1 * 0.4^2}{100 * 1} = 9.6 \times 10^{-3} \Omega$$

$$I''_k = \frac{c(kV)}{\sqrt{3} Z_{Tr}} = \frac{1 * 0.4}{\sqrt{3} * 9.6 \times 10^{-3}} = 24.05 \text{ kA}$$

3. ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเคเบิล (มอก. 11-2531)

ขนาดสายไฟ (ตร.มม.)	R	X_L	
	ความต้านทานกระแสลับที่ 40 °C (มิลลิโห์ม / ม.)	รีแอกแตนซ์ในท่อโลหะ (มิลลิโห์ม / ม.)	รีแอกแตนซ์ในท่อโลหะหรือเป็นเคเบิล (มิลลิโห์ม / 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

ค่าอิมพีแดนซ์ของบัสบาร์

ขนาด (A)	อะลูมิเนียม ($m\Omega/m$)		ทองแดง ($m\Omega/m$)	
	ความต้านทาน	รีแอกแตนซ์	ความต้านทาน	รีแอกแตนซ์
225-600	0.1342	0.0350	0.0764	0.0350
800	0.0814	0.0216	0.0764	0.0350
1000	0.0712	0.0186	0.0623	0.0260
1200	0.0568	0.0150	0.0489	0.0216
1350	0.0407	0.0112	0.0417	0.0186
1600	0.0367	0.0098	0.0328	0.0150
2000	0.0292	0.0079	0.0240	0.0112
2500	0.0269	0.0071	0.0164	0.0079
3000	0.0210	0.0057	0.0161	0.0077
4000	0.0148	0.0038	0.0121	0.0057

4. ค่าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์

$Z_M = R_M + jX_M$ สามารถคำนวณได้จาก

$$Z_{motor} = \left(\frac{1}{I_{LR} / I_M} \right) \left(\frac{V_M}{\sqrt{3}I_M} \right) = \left(\frac{1}{I_{LR} / I_M} \right) \left(\frac{V_M^2}{S_M} \right)$$

V_M = แรงดันพิกัดของมอเตอร์

I_M = กระแสพิกัดของมอเตอร์

S_M = กำลังปรากฏพิกัดของมอเตอร์

I_{LR}/I_M = อัตราส่วนของกระแสล่อโรเตอร์
ต่อกระแสพิกัดของมอเตอร์

การหาค่ายอดกระแสลัดวงจร

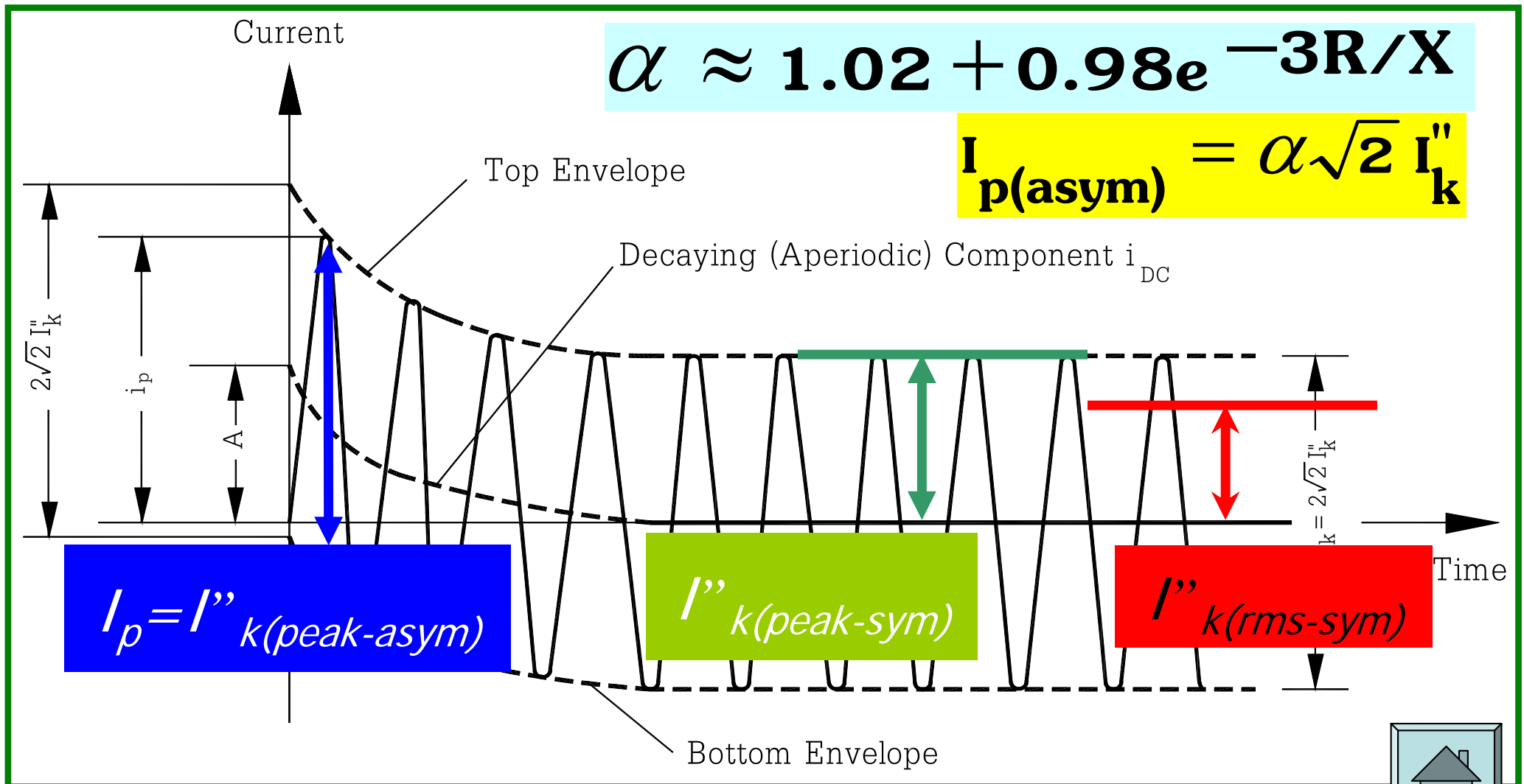
กระแสลัดวงจรค่ายอด i_p ที่เป็นค่า **Asymmetrical** เกิดขึ้นในช่วง $1/2$ cycle ของรูปคลื่นกระแสลัดวงจร

$$I_{p(\text{asym})} = \alpha \sqrt{2} I_k''$$

ค่า α (Asymmetrical factor) จะขึ้นอยู่กับค่า R/X
อาจคำนวณค่า α ได้โดยประมาณจาก

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

รูปคลื่นกระแสลัดวงจร



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

$$I_{p(asym)} = \alpha\sqrt{2} I_k''$$

$$I_p = I_k'' \text{ (peak-asym)}$$

$$I_k'' \text{ (peak-sym)}$$

$$I_k'' \text{ (rms-sym)}$$



ประมาณค่า α และ R_M/X_M ของมอเตอร์

$\alpha = 1.75$, $R_M/X_M = 0.01$, สำหรับมอเตอร์แรงดันสูง (> 1000 V) ที่มีกำลัง ≥ 1 MW

$\alpha = 1.65$, $R_M/X_M = 0.15$, สำหรับมอเตอร์แรงดันสูง ที่มีกำลัง < 1 MW

$\alpha = 1.30$, $R_M/X_M = 0.42$, สำหรับกลุ่มของมอเตอร์แรงดันต่ำที่ต่อกัน



การหาค่า symmetrical short-circuit breaking current (I_b)

- **Sym. Short-circuit breaking current** หมายถึง *Graph*
ค่า RMS ของส่วนประกอบ AC ของกระแสลัดวงจรขณะที่
หน้าสัมผัสชั่วแรกของเบรกเกอร์ที่สวิตช์แยกออก
- โดยทั่วไป IEC 909 จะกำหนดให้ I_b มีค่าเท่ากับ I_k''
- แต่สำหรับมอเตอร์สามารถใช้ตัวคูณลดได้ **เนื่องจากผลของ**
ฟลักซ์แม่เหล็กของมอเตอร์ที่ลดลงขณะเกิดการลัดวงจร ซึ่งจะขึ้นกับ
minimum delay time ของอุปกรณ์สวิตช์, **lock rotor**
current และ **pole pair** ของมอเตอร์



Symmetrical short-circuit breaking current (I_b) ของ Synchronous machine

$$I_b = q I_k''$$

I_b = Sym. short-circuit breaking current

q = ตัวคูณขึ้นกับอัตราส่วนระหว่าง active power กับกระแส lock rotor กับ delay time ของอุปกรณ์ป้องกัน



Symmetrical short-circuit breaking current (I_b) ของ Asynchronous machine

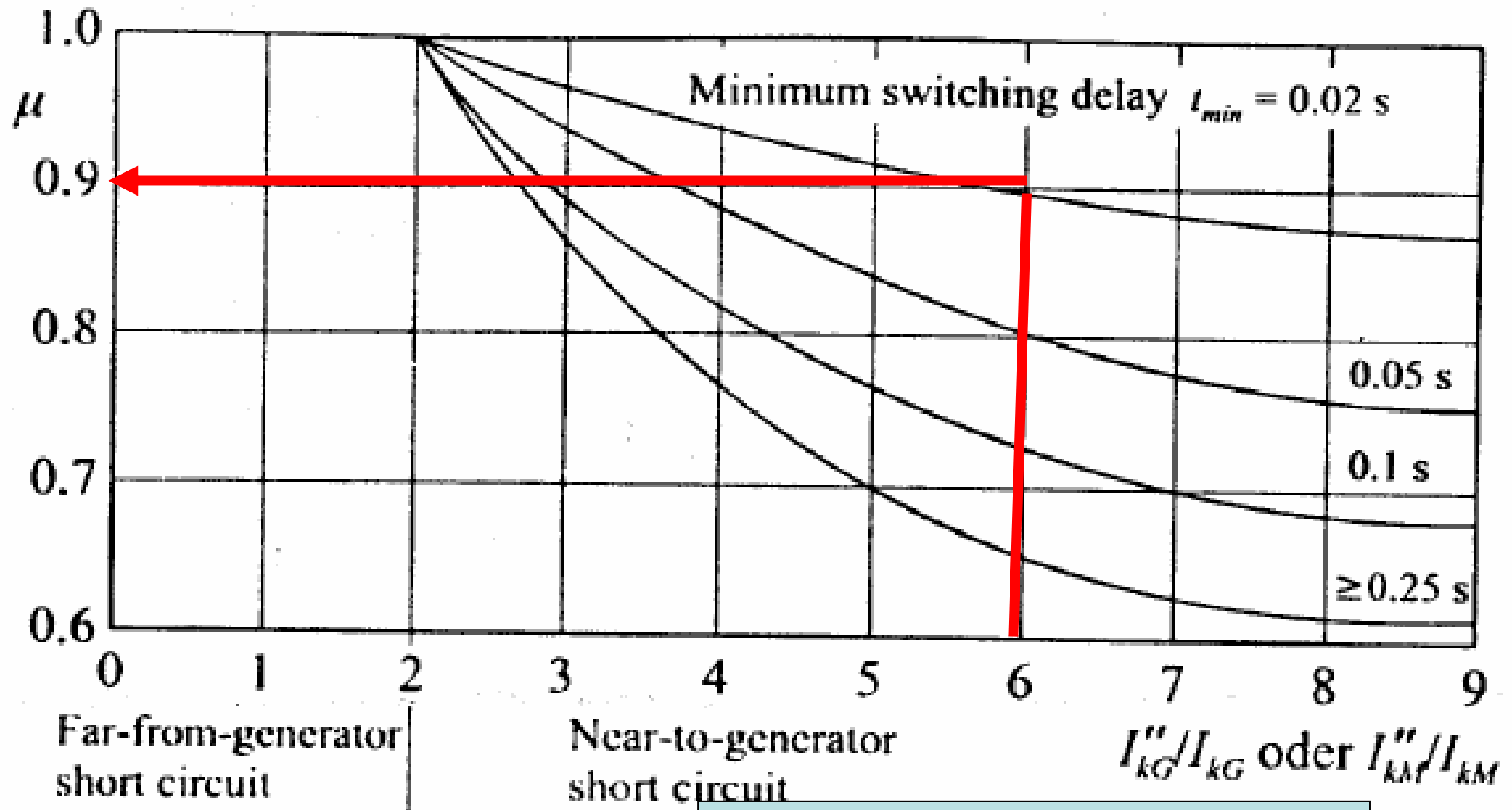
$$I_b = \mu q I_k''$$

I_b = Sym. short-circuit breaking current

μ = ตัวคูณขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างกระแสลัดวงจร (I_k'') กับกระแส lock rotor และ delay time ของอุปกรณ์ป้องกัน

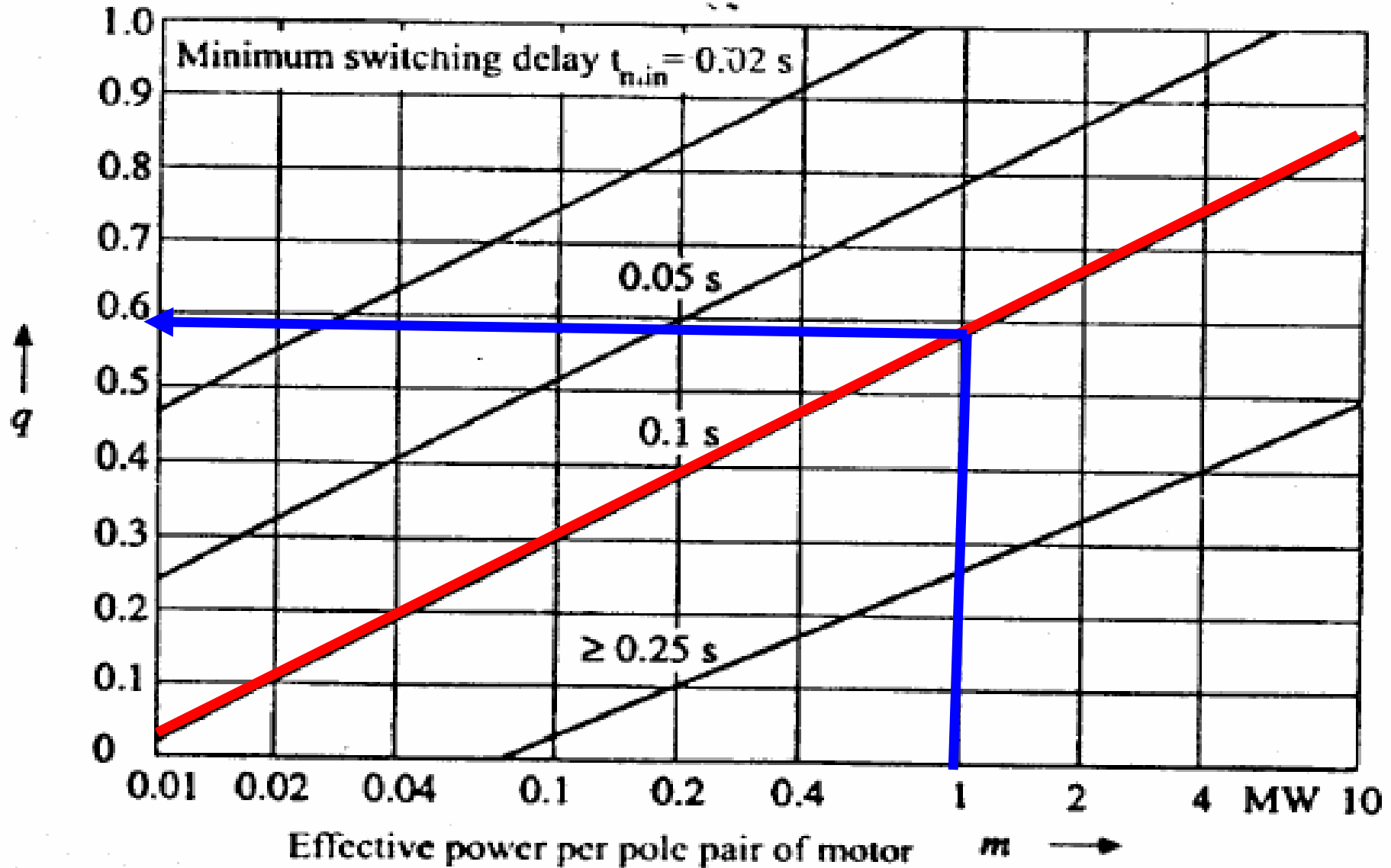
q = ตัวคูณขึ้นกับอัตราส่วนระหว่าง active power กับกระแส lock rotor กับ delay time ของอุปกรณ์ป้องกัน

การหาค่า μ



Int sc current/Rated current

การหาค่า q



Real power/pole pair

ตัวอย่างการคำนวณ

ระบบไฟฟ้า:

750 MVA_{SC}, 33 kV

หม้อแปลง:

33kV/6.3kV, 15 MVA, %Z
= 8, X/R=18.6

สายไฟฟ้า:

$Z_L = 0.0481 + j0.0431 \Omega$

Motor1 (synchro.):

5 MW, 6 kV, PF=0.86

Eff.=0.97, $I_{LR}/I_{rM}=4$

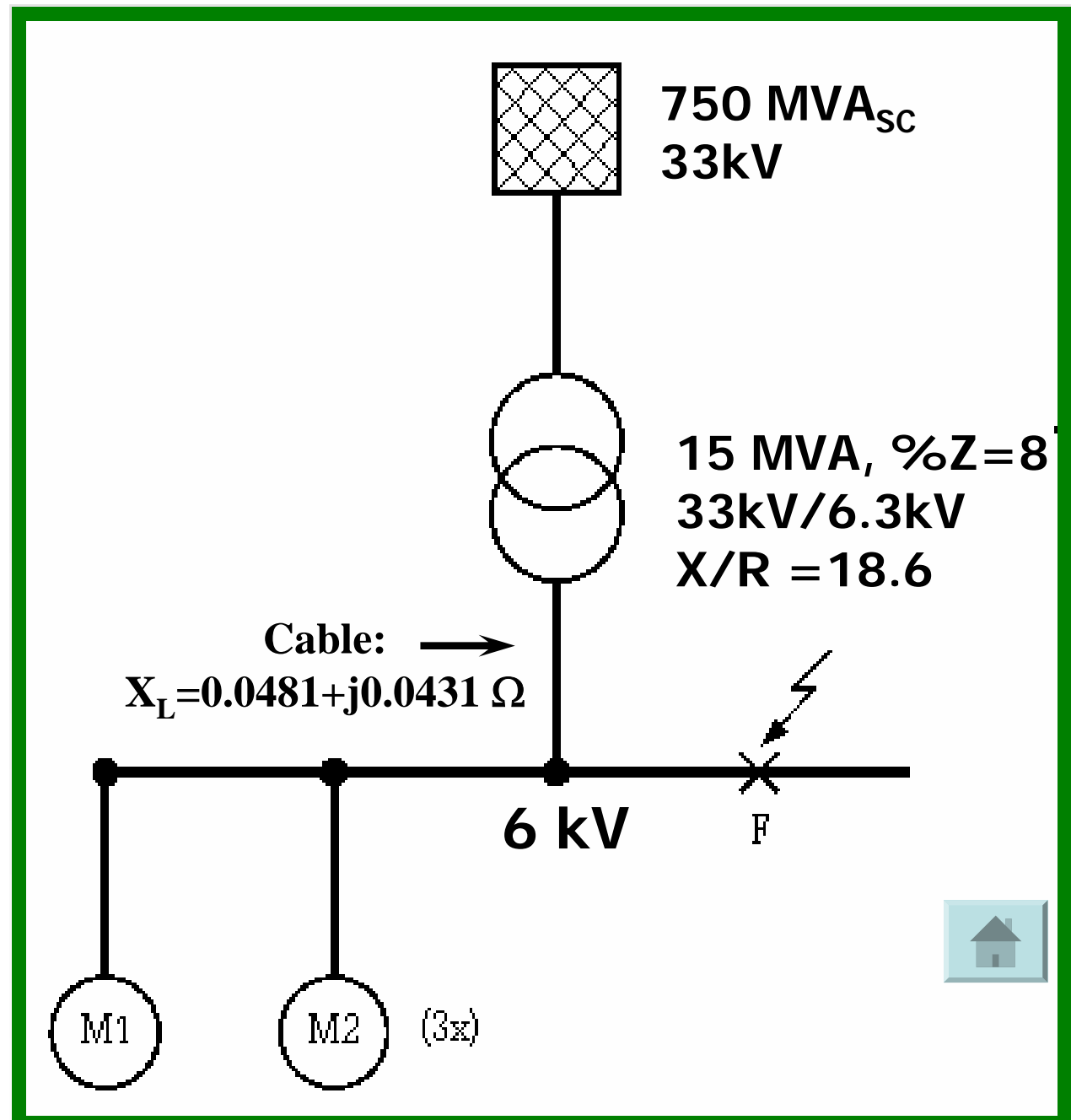
Pole pair = 2

Motor2 (3 ตัว, Asynchro):

1 MW, 6 kV, PF=0.83

Eff.=0.94, $I_{LR}/I_{rM}=5.5$

Pole pair = 1



การหา impedance ของระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้า

$$Z_Q = \frac{c (kV)_Q^2}{MVA_{sc}} * \left(\frac{1}{t_r^2} \right)$$

$$Z_Q = \frac{1.1 \times 33^2}{750} \frac{1}{(33 / 6.3)^2} = 0.0582 \Omega$$

$$X_Q = 0.995 Z_Q = 0.995 \times 0.0582 = 0.058 \Omega$$

$$R_Q = 0.1 X_Q = 0.1 \times 0.058 = 0.0058 \Omega$$

การหา impedance ของสายเคเบิล

สายเคเบิล L

$$Z_L = R_L + jX_L \ \Omega$$

$$Z_L = 0.0481 + j0.0431 \ \Omega$$

$$|Z_L| = \sqrt{(0.0481^2 + 0.0431^2)} = 0.0646 \ \Omega$$

การหา impedance ของหม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้า

$$Z_{Tr} = \frac{\% Z (kV)_T^2}{100 MVA_{TR}}$$

$$Z_{Tr} = \frac{8}{100} \frac{6.3^2}{15} = 0.2117 \Omega$$

$$R_{Tr} = \frac{Z}{\sqrt{1 + (X / R)^2}} = \frac{0.2117}{\sqrt{1 + (18.6)^2}} = 0.1136 \Omega$$

$$X_{Tr} = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{0.2117^2 - 0.1136^2} = 0.1787 \Omega$$

ค่า X,R,Z ลัดวงจรของระบบที่จุด F

	R_k	X_k	Z_k
Utility	0.0058	0.058	0.0582
Trans.	0.1787	0.1136	0.2117
Cable	0.0431	0.0481	0.0644
Total	0.2276	0.2197	0.3345

Asymmetrical Factor

$$\alpha = 1.02 + 0.98e^{-3(R/X)}$$

$$\alpha = 1.02 + 0.98e^{-3(0.2276/0.2197)}$$

$$\alpha = 1.063$$

กระแสลัดวงจร I''_k ที่จุด F เมื่อไม่คิดผลของมอเตอร์

$$I''_{k(\text{without M1,M2})} = \frac{c(\text{kV})}{\sqrt{3} \times Z_k}$$

$$= \frac{1.1 \times 6}{\sqrt{3} \times 0.3345} = 11.40 \text{ kA}$$

Graph

กระแสลัดวงจร I_{peak} ที่จุด F เมื่อไม่คิดผลของมอเตอร์

$$I_{p(\text{asym})} = \alpha \sqrt{2} I''_k = 1.063 \sqrt{2} \times 11.40$$
$$= 17.13 \text{ kA}$$



กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ M1

$$MVA_{M1} = \frac{P_{m1}}{eff_{m1} \cos \phi_{m1}}$$

$$= \frac{5}{0.86 \times 0.97} = 6 \text{ MVA}$$

$$Z_{M1} = \frac{1}{I_{LR}/I_{M1}} \cdot \frac{kV_{M1}^2}{MVA_{M1}}$$

$$= \frac{1}{4} \left(\frac{6^2}{6} \right) = 1.5 \Omega$$

$$I''_{kM1} = \frac{ckV_{M1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{M1}}$$

$$= \frac{1.1 \times 6}{\sqrt{3} \times 1.5}$$

$$= 2.54 \text{ kA}$$

กระแสลัดวงจร I_p จากมอเตอร์ M1

$$I_{p(asym), M1} = \alpha \sqrt{2} I''_k = 1.75 \sqrt{2} \times 2.54$$

$$= 6.27 \text{ kA}$$

โทษ

α



กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ M2

$$MVA_{M2} = \frac{P_{m2}}{eff_{m2} \cos \phi_{m2}} = \frac{1}{0.86 \times 0.94} = 1.28 \text{ MVA}$$

$$Z_{M2} = \frac{1}{3} \frac{1}{I_{LR}/I_{M2}} \cdot \frac{kV_{M2}^2}{MVA_{M2}} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{5.5} \times \frac{6^2}{1.28} = 1.705 \Omega$$

$$I''_{kM2} = \frac{ckV_{M2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{M2}} = \frac{1.1 \times 6}{\sqrt{3} \times 1.705} = 2.23 \text{ kA}$$

กระแสลัดวงจร I_p จากมอเตอร์ M2

$$I_{p(asym), M2} = \alpha \sqrt{2} I''_k = 1.75 \sqrt{2} \times 2.23 = 5.52 \text{ kA}$$

โจทย

กระแสลัดวงจรรวม ที่ตำแหน่ง F เมื่อติดผลของมอเตอร์ด้วย

$$I''_k = I''_{k(\text{without } M1, M2)} + I''_{kM1} + I''_{kM2}$$



$$= 11.40 + 2.54 + 2.23 \text{ kA} = 16.17 \text{ kA}$$

$$I_{p(\text{asym})} = I_{p(\text{without } M1, M2)} + I_{pM1} + I_{pM2}$$

$$= 17.13 + 6.27 + 5.52 \text{ kA} = 28.92 \text{ kA}$$

Tip: ไม่ติดผล motor เมื่อ $\sum I_{nM} \leq 0.01 I''_{k(\text{without } motor)}$

การคำนวณค่า Sym. Short circuit breaking current ของ motor

พิจารณาที่เวลา T_{\min} ของอุปกรณ์ป้องกัน = 0.1 s

Motor M1 เป็น Synchronous motor

โจทย์

$$I_{rM} = \frac{S_{Motor}}{\sqrt{3}U_M} = \frac{6}{\sqrt{3} \times 6} = 0.557 \text{ A}$$

$$I_k'' = 2.54$$

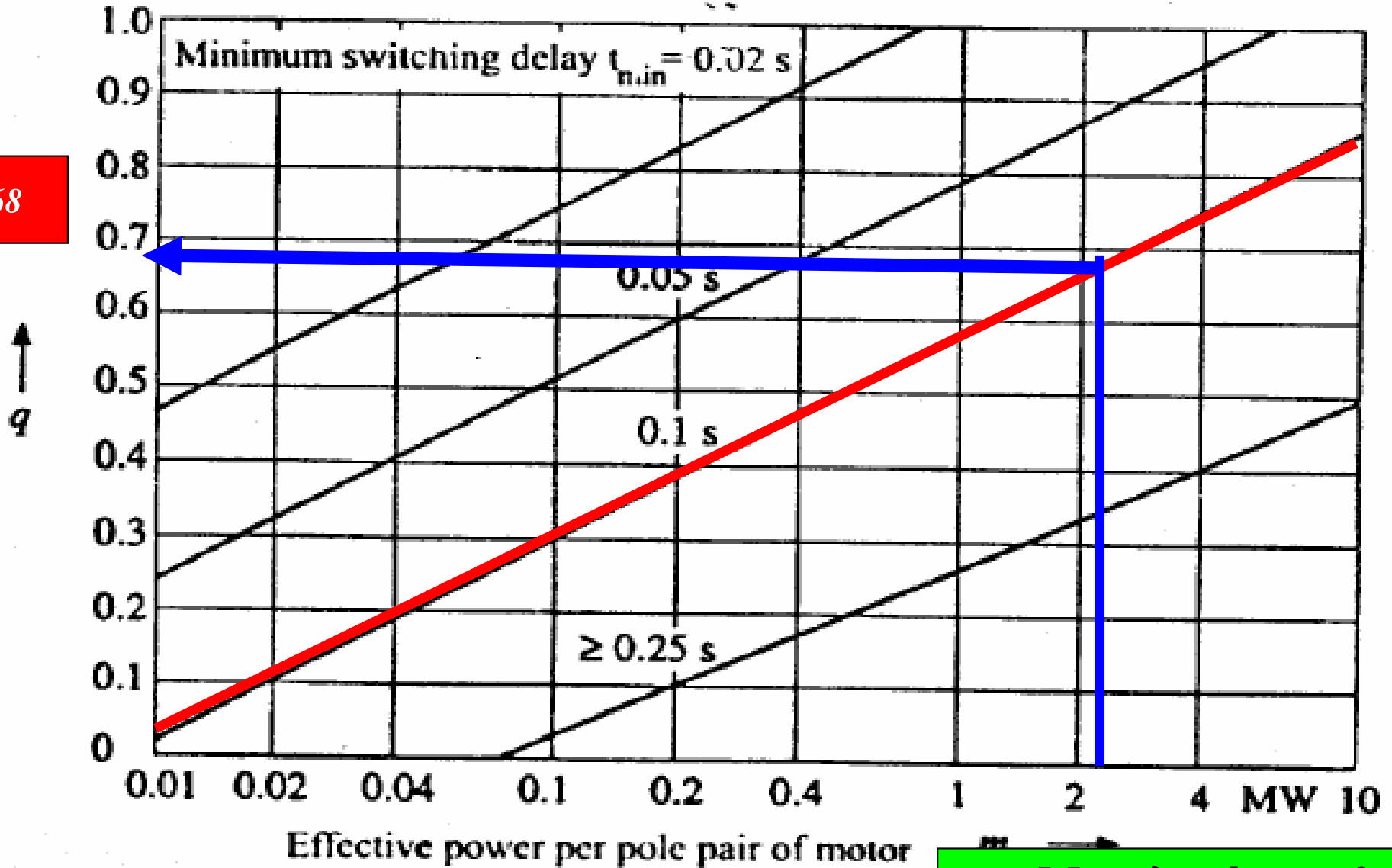
หาค่า q

$$\frac{I_{kM}''}{I_{rM}} = \frac{2.54}{0.557} = 4.40$$

$$\frac{MW}{pole_pair} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ MW}$$

การหาค่า q

$q=0.68$



$Mw/pole\ pair=2.5$

การคำนวณค่า Sym. Short circuit breaking current ของ motor

Motor M1

Int SC M1

นำค่าที่ได้ไปลากกราฟจะได้ว่า $q_{m1} = 0.68$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_{bM1} &= q (I_k'') \\ &= (0.68)(2.54) \\ &= 1.73 \text{ kA} \end{aligned}$$

การคำนวณค่า Sym. Short circuit breaking current ของ motor



ชุด Motor M2 เป็น Asynchronous motor 3 ตัว

โจทย์

$$I_k'' = 2.23$$

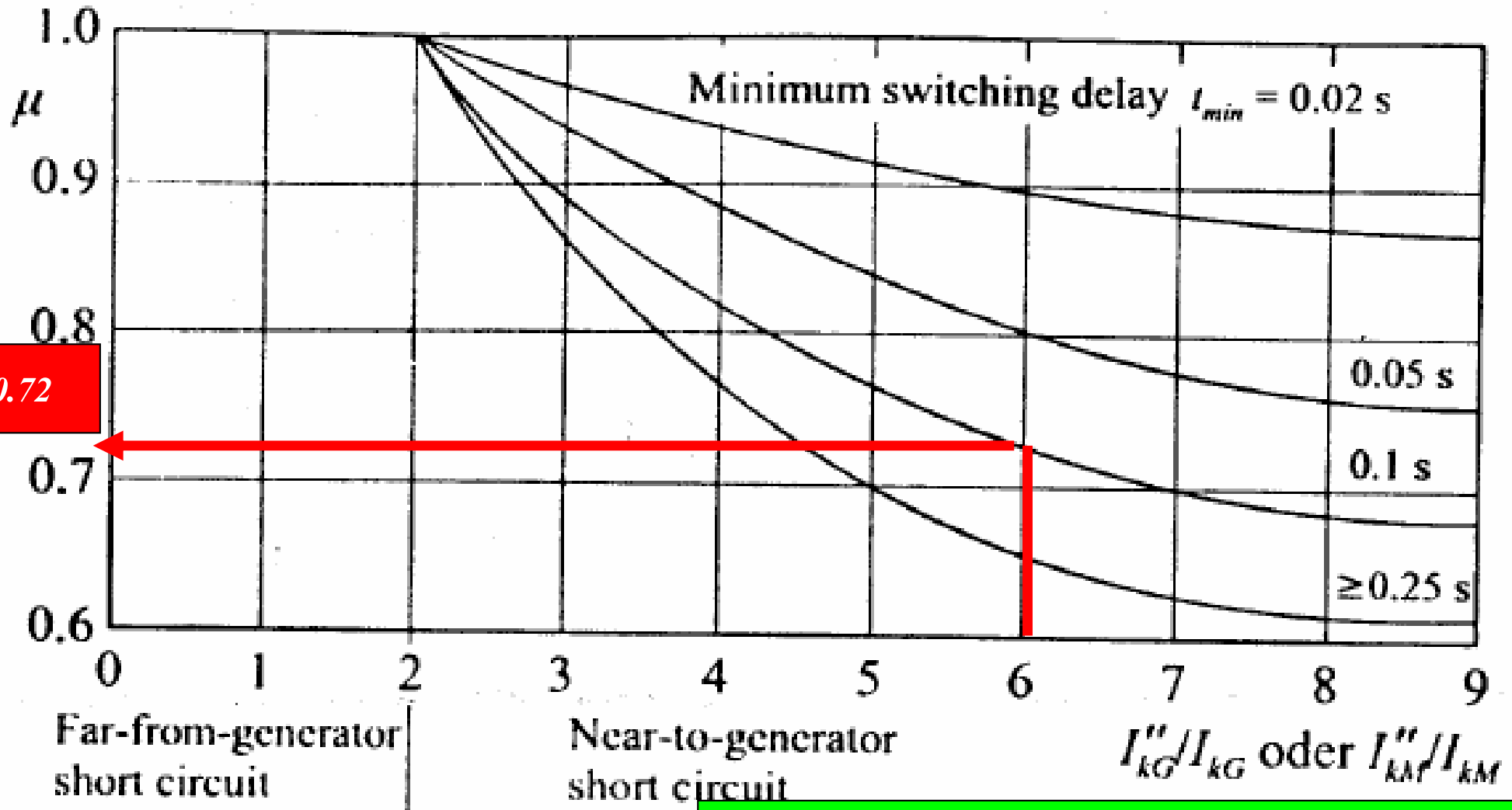
$$I_m = \frac{S_{Motor}}{\sqrt{3}U_M} = \frac{1.28}{\sqrt{3} \times 6} = 0.123 \text{ A}$$

หาค่า μ และ q

$$\frac{I_{kM}''}{I_{rM}} = \frac{2.23}{3 \times 0.123} = 6.05$$

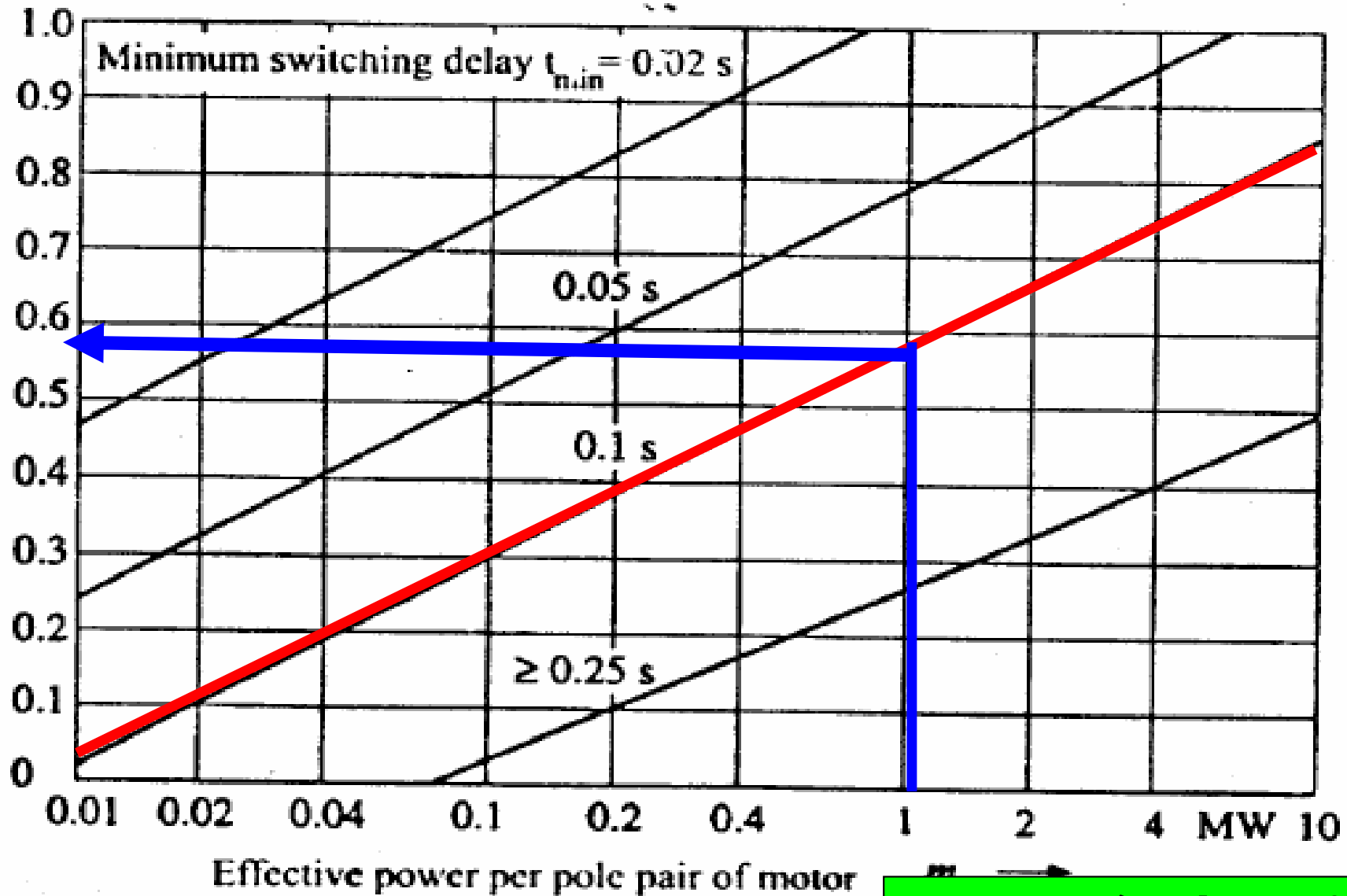
$$\frac{MW}{pole_pair} = \frac{1}{1} = 1 \text{ MW}$$

การหาค่า μ ของชุด Motor 2



Int sc current/Rated current = 6.05

การหาค่า q ของชุด Motor 2



$q=0.57$

q

$Mw/pole\ pair=1$

การคำนวณค่า Sym. Short circuit breaking current ของ motor

Motor M2

นำค่าที่ได้ไปลากกราฟจะได้ว่า $\mu_{m1} = 0.72$ และ $q_{m1} = 0.57$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_{bM1} &= \mu q (I_k'') \\ &= (0.72)(0.57)(2.23) \\ &= 0.92 \text{ kA} \end{aligned}$$

I_k''

การคำนวณค่า Sym. Short circuit breaking current ของ motor

รวมค่ากระแส breaking current

$$I_b = I_{b \text{ (without } M1 \text{ } M2)} + I_{bM1} + I_{bM2}$$

$$I_b = 11.40 + 1.73 + 0.92$$

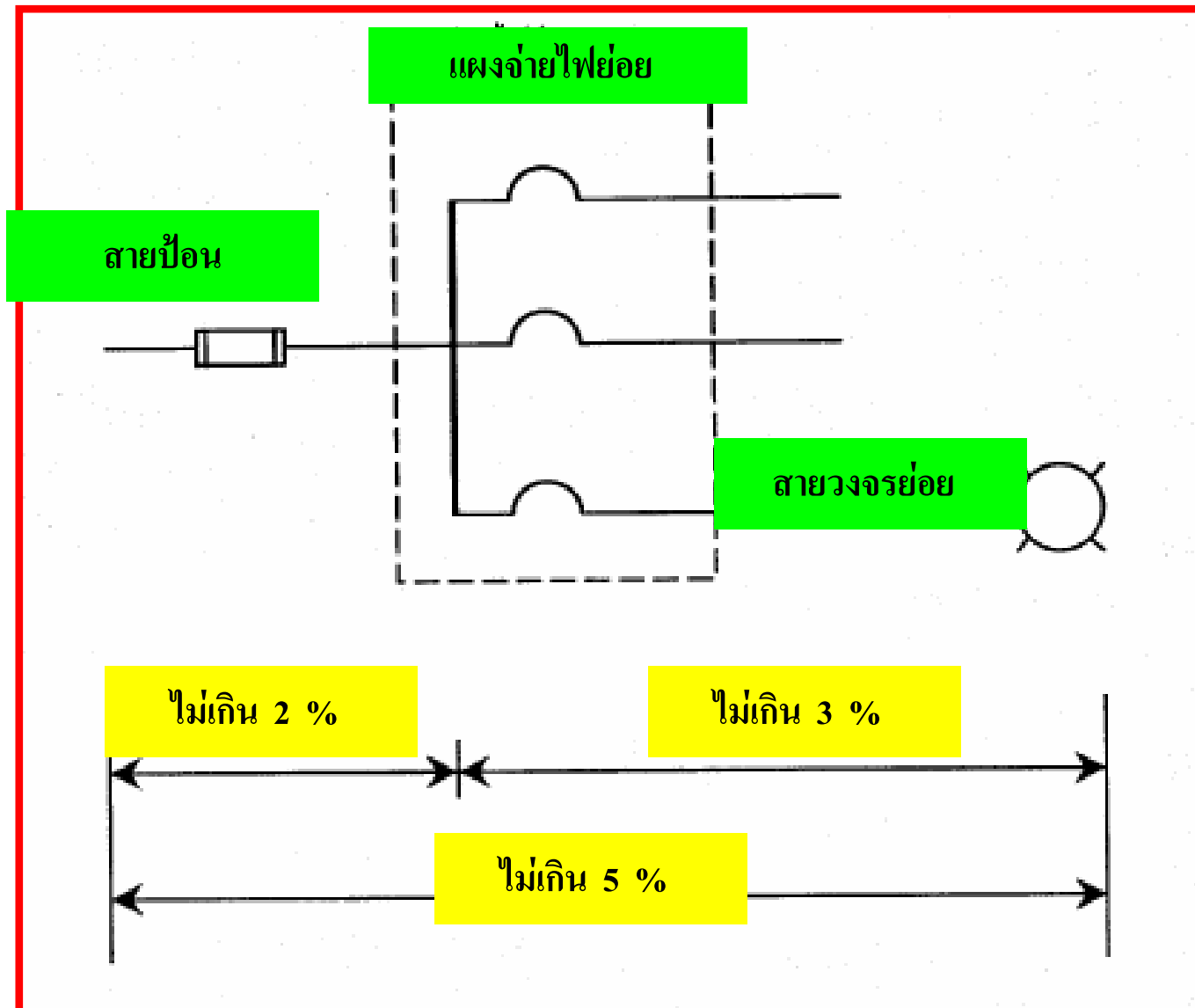
$$I_b = 14.05 \text{ kA}$$

Int SC

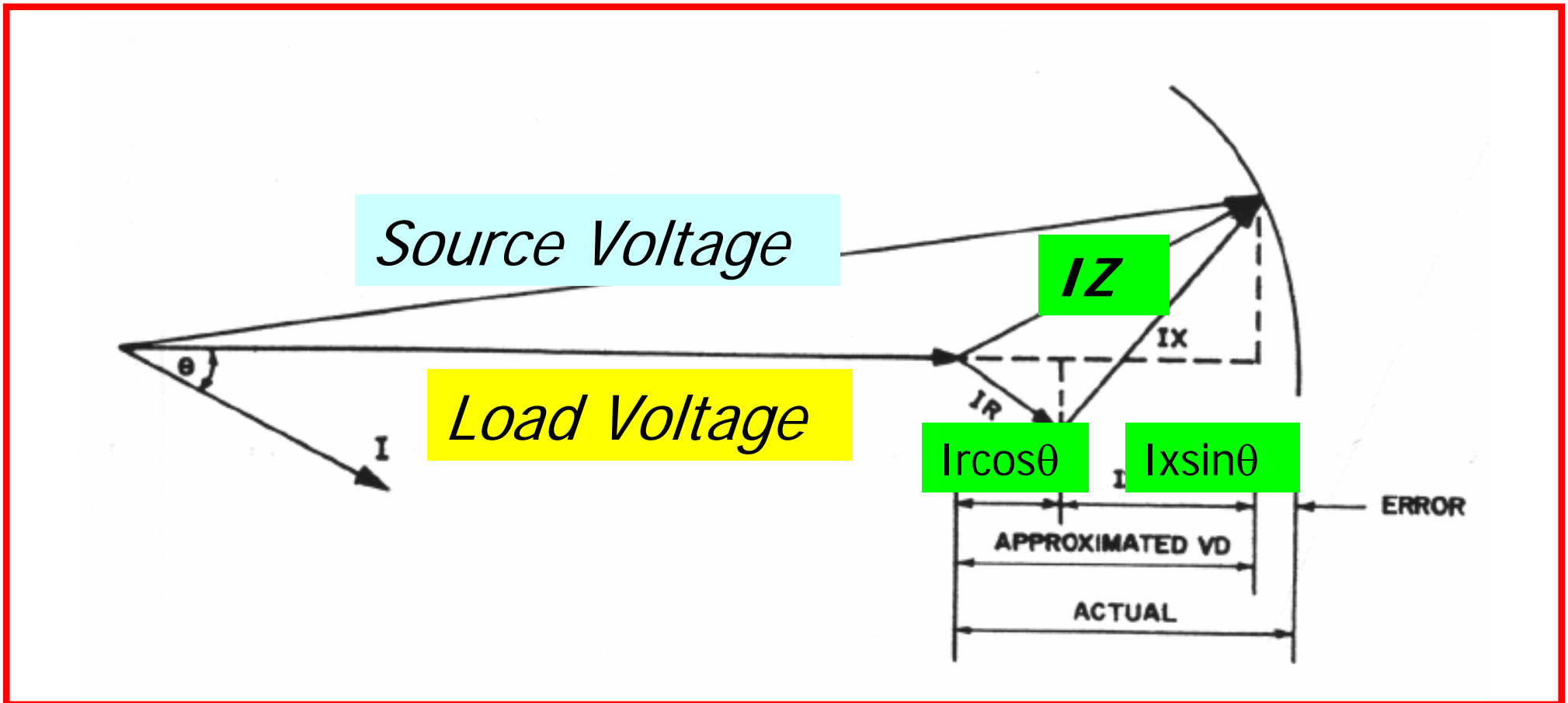
แรงดันตก (voltage drop)

- ผลของแรงดันตกจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องใช้ไฟฟ้าลดลง เช่น หลอดประเภทดิสชาร์จอาจไม่ติด มอเตอร์เริ่มเดินไม่ได้ หรือไหม้และทำให้อายุการใช้งานลดลง
- **NEC** แนะนำระดับแรงดันตกที่ยอมรับได้คือ
 - ในช่วงของสายป้อนไม่เกิน 2%
 - ในช่วงของวงจรรย่อยไม่เกิน 3%
 - แหล่งจ่ายจนถึงโหลดไม่เกิน 5%

แรงดันตกตามมาตรฐาน NEC



Vector diagram



การหาค่าแรงดันตก

1 phase

$$VD \approx 2IL(R \cos \theta + X \sin \theta)$$

3 phase

$$VD \approx \sqrt{3}IL(R \cos \theta + X \sin \theta)$$

I : กระแสในระบบ, A

L : ความยาวตัวนำ, m

R : ความต้านทานของตัวนำ, Ω/m

X : รีแอกแตนซ์ของตัวนำ, Ω/m

θ : มุมกำลัง

ผลกระทบเนื่องจากแรงดันตก

คุณสมบัติของมอเตอร์	แรงดันไฟฟ้าตก 10 %
แรงบิดตอนสตาร์ท	ลดลง 10 %
แรงบิดสูงสุด	ลดลง 19 %
ความเร็วซิงโครนัส	ไม่เปลี่ยนแปลง
% สลิป	เพิ่มขึ้น 23 %
ความเร็วรอบ full load	ลดลง 15%
กระแส starting	ลดลง 10-12 %
ประสิทธิภาพ full load	ลดลง 2 %
Power factor full load	ลดลง 1 %

ตัวอย่างที่ 1

- จงหา voltage drop ของระบบไฟฟ้า 380V, 3 ph, 100 A, 0.85 PF สายตัวนำขนาด 3x50 mm² เดินในท่อโลหะ มีความยาว 150 m จากแหล่งจ่ายไฟ

$$R = 0.41739 \Omega / \text{km}$$

$$\cos\theta = 0.85$$

$$X = 0.10903 \Omega / \text{km}$$

$$\sin\theta = 0.526$$

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

$$= \sqrt{3} \times 100 \times 150 (0.41739 \times 0.85 + 0.109 \times 0.526) / 1000$$

$$= 10.72 \text{ V}$$

$$= (10.72 \times 100 / 380) = 2.82 \% \#$$

ตัวอย่างที่ 2 (concentrated load)

◆ จงหาแรงดันตกของระบบไฟฟ้า 220 V, 1 ph, 15 A 1.0 PF, สาย
ตัวนำ 1x2.5 mm² สำหรับวงจรย่อยระยะทาง 40 m

$$R = 7.97763 \ \Omega / \text{km} \qquad \cos\theta = 1.0$$

$$X = 0.13766 \ \Omega / \text{km} \qquad \sin\theta = 0$$

$$VD = 2IRL = 2 \times 15 \times 7.97763 \times 40 / 1000 = 9.57 \ \text{V} = 4.35\%$$

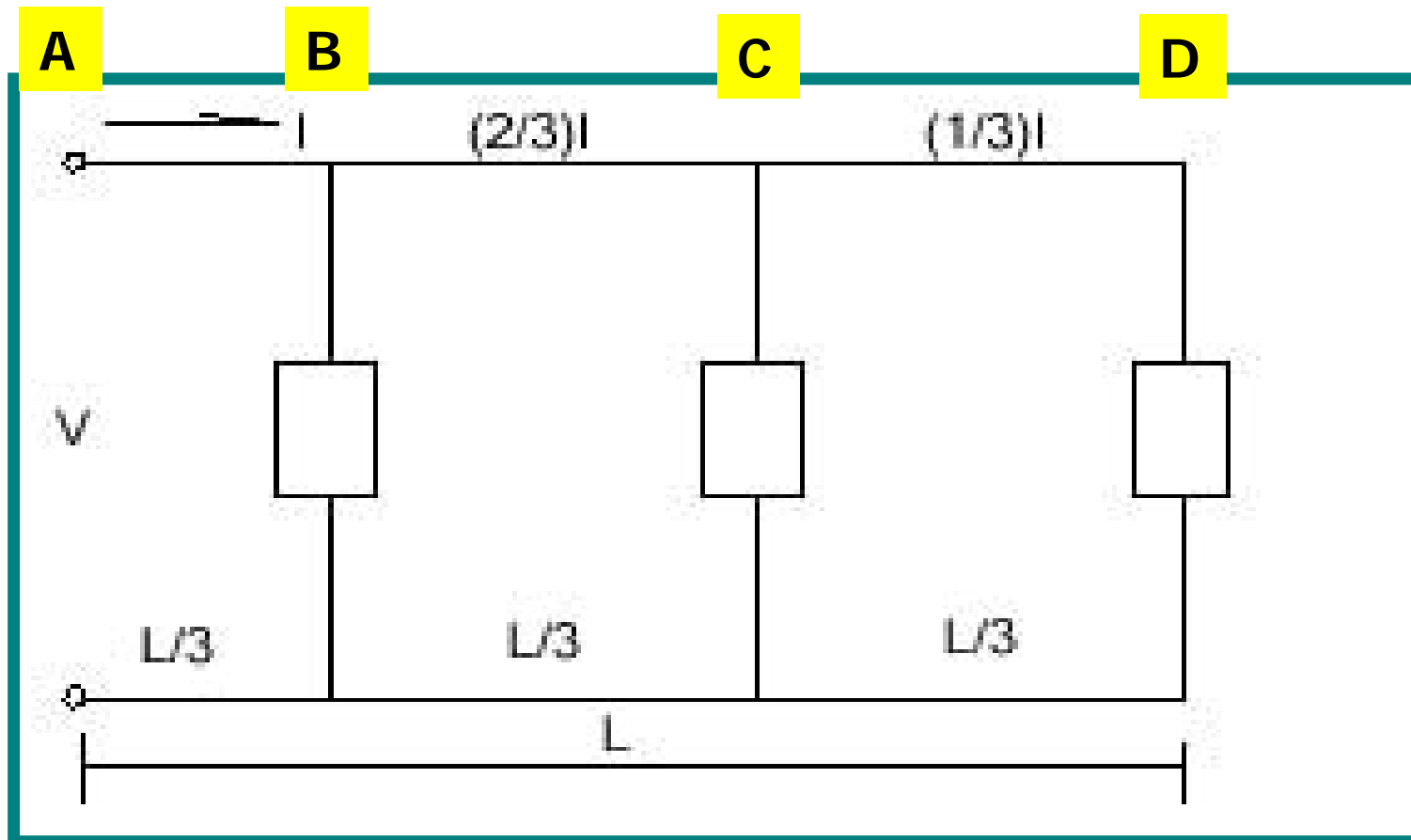
ไม่เกิน 3% --> $0.03 \times 220 = 6.6 \ \text{V}$

$$6.6 = 2 \times 15 \times 7.97763 \times L / 1000$$

$$L = 27.58 \ \text{m} \ \#$$

ตัวอย่างที่ 3 (distributed load)

◆ จงหาแรงดันตกของระบบไฟฟ้าดังรูป: 220 V, 1 ph, จ่ายโหลด ขนาด 3x5 A, 1.0 PF, 30 m จากแผงวงจรย่อย ใช้สาย THW-1x2.5 mm² ระยะห่างแต่ละช่วงเท่ากับ 10 m



ตัวอย่างที่ 3

$$R = 7.97763 \Omega / \text{km}$$

$$\cos\theta = 1.0$$

$$X = 0.13766 \Omega / \text{km}$$

$$\sin\theta = 0$$

$$VD = 2IRL = 2R \left(I + \frac{2}{3}I + \frac{1}{3}I \right) \frac{L}{3}$$

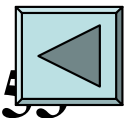
$$VD = 2 \times 7.97763 (15 + 10 + 5) \times 30 / 3000 = 4.78 \text{ V} = 2.18 \% \#$$

ไม่เกิน 3 % --> $0.03 \times 200 = 6.6 \text{ V}$

$$6.6 = 2 \times 7.97763 \times (15 + 10 + 5) \times (L / 3000)$$

$$L = 41.36 \text{ m} \#$$

(ระยะทางที่ติดตั้งได้จะยาวกว่า concentrated load)



Thank You

