ประวัติการทำงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

- **การศึกษา**

  - **พ.ศ. 2503**

    - ชั้นเตรียมอุดมศึกษาโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

  - **พ.ศ. 2504**

    - คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
    - ได้รับทุน COLOMBO PLAN รุ่นแรก ไปศึกษาต่อ ณ ประเทศออสเตรเลีย

ประวัติการทำงาน

- <u>การศึกษา</u> (ต่อ)

  - พ.ศ. 2506

    - LEAVING CERTIFICATE (HIGH SCHOOL)
      SYDNEY TECHNICAL COLLEGE

  - พ.ศ. 2510

    - BACHELOR OF ENGINEERING
      UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES

  - พ.ศ. 2524

    - วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
      จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติการทำงาน

- **การทำงาน**

 พ.ศ. 2511 ถึง 2543

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

 พ.ศ. 2543 - 2559

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

- วิชาที่เคยสอน

  - ระดับบัณฑิตศึกษา (ป. ตรี)
    - Fundamental of Electrical Engineering
    - Electromechanical Energy Conversion
    - Illumination Engineering
    - Application Engineering
    - Electrical System Design
    - Power System Protection
  - ระดับมหาบัณฑิต (ป. โท)
    - Power System Protection
    - Advanced Electrical System Design

ประวัติการทำงาน

- **ความเชี่ยวชาญ**

- การออกแบบระบบไฟฟ้า
- การออกแบบระบบแสงสว่าง
- การประหยัดพลังงานไฟฟ้า
- การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า
- การป้องกันระบบไฟฟ้า

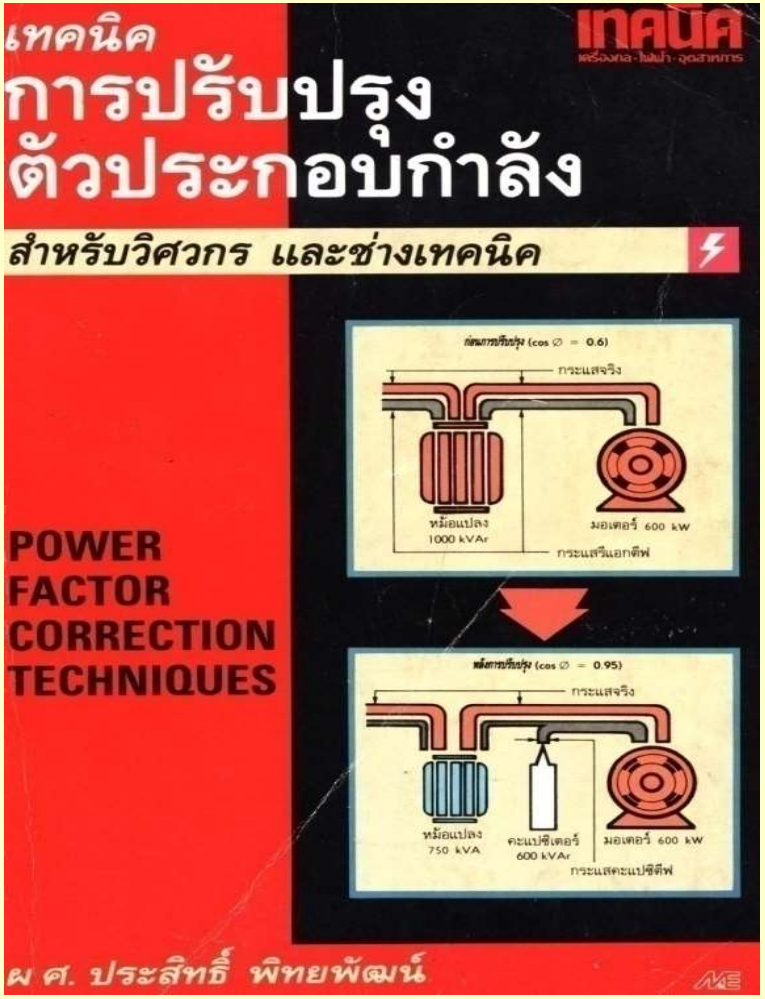
ประวัติการทำงาน

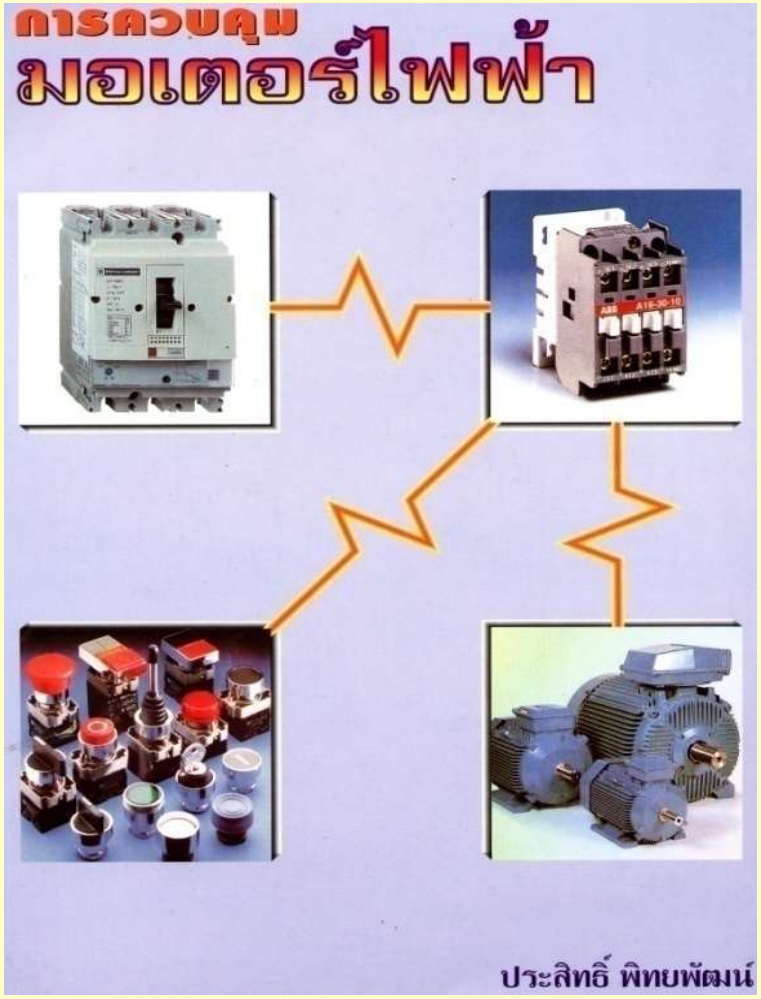
วิทยากร

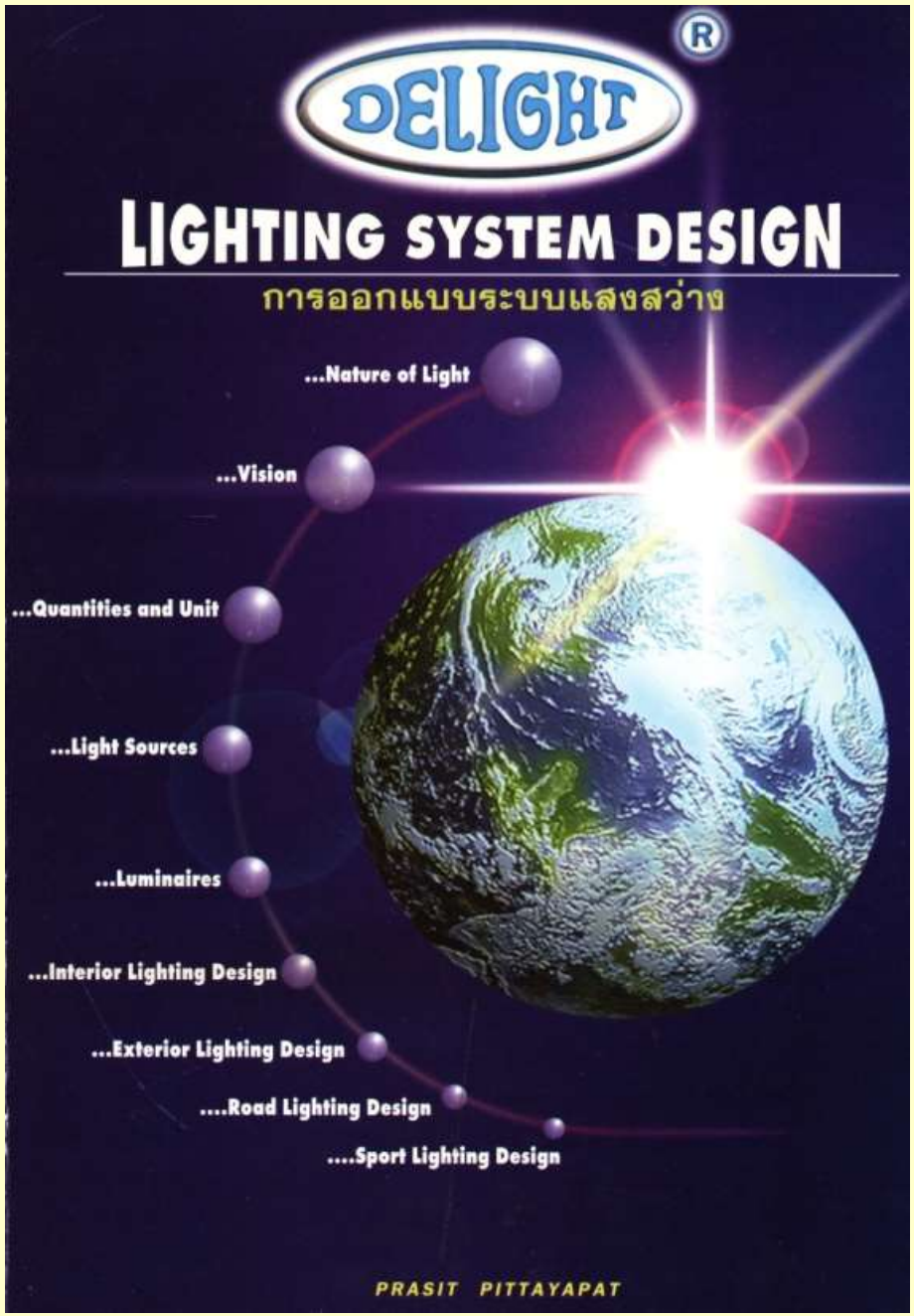
- การฝึกอบรม / สัมมนา
  - การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
  - การควบคุมมอเตอร์
  - การออกแบบระบบไฟฟ้า
  - การป้องกันระบบไฟฟ้า
  - การต่อลงดิน
  - Harmonic ในระบบไฟฟ้ากำลัง
  - การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร และโรงงานอุตสาหกรรม
  - มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า

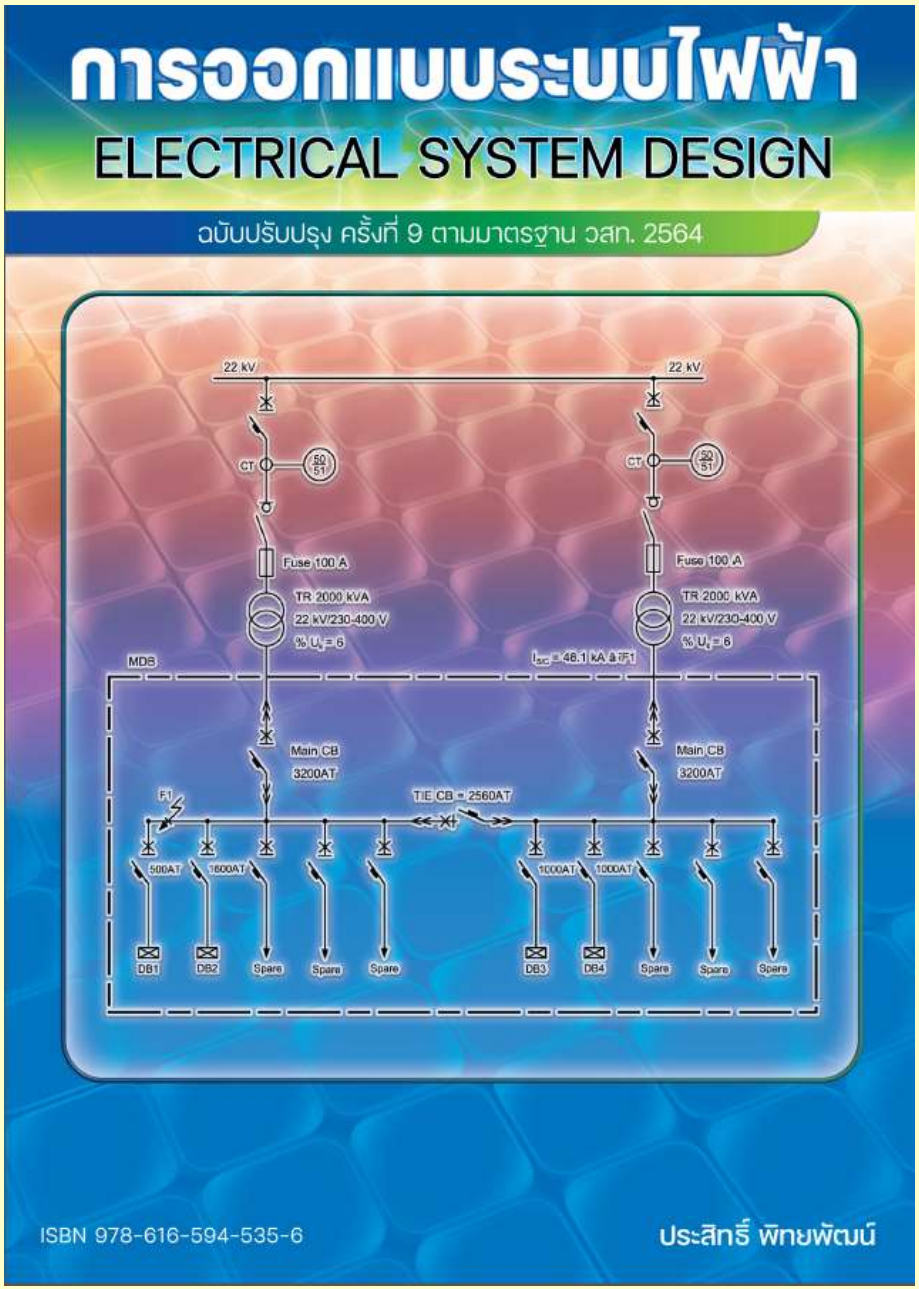
ประวัติการทำงาน

- **หนังสือที่แต่ง**
  - เทคนิคการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (153 หน้า)
  - คู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า (276 หน้า)
  - การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า (348 หน้า)
  - การออกแบบระบบแสงสว่าง (357 หน้า)
  - การออกแบบระบบไฟฟ้า (522 หน้า)
  - การป้องกันระบบไฟฟ้า (373 หน้า)
  - ท่อร้อยสายไฟฟ้า (151 หน้า)

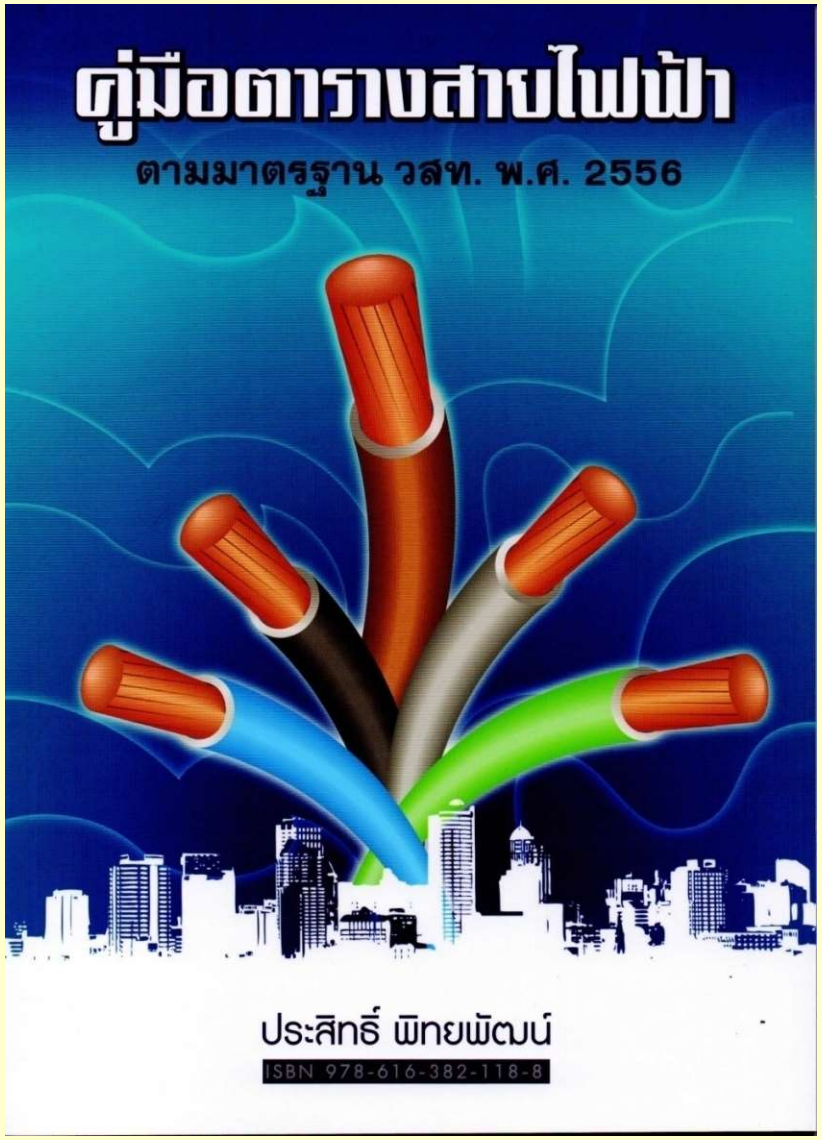

เทคนิค
การปรับปรุง
ตัวประกอบกำลัง
สำหรับวิศวกร และช่างเทคนิค
POWER
FACTOR
CORRECTION
TECHNIQUES
ผ ศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

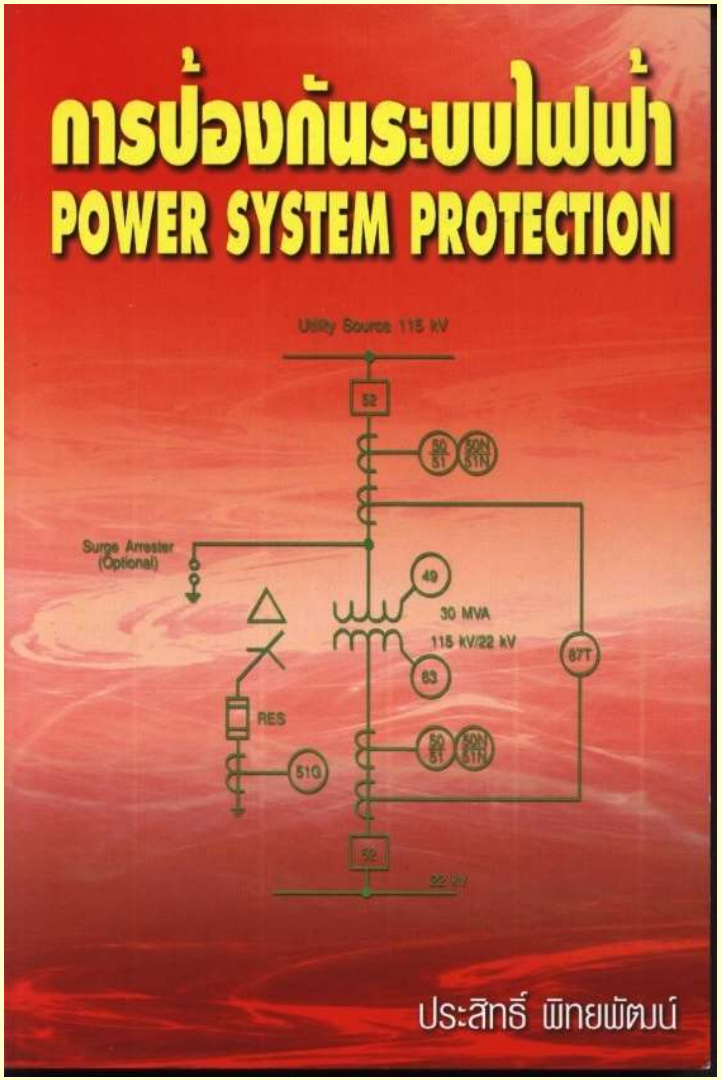

การควบคุม
มอเตอร์ไฟฟ้า
ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

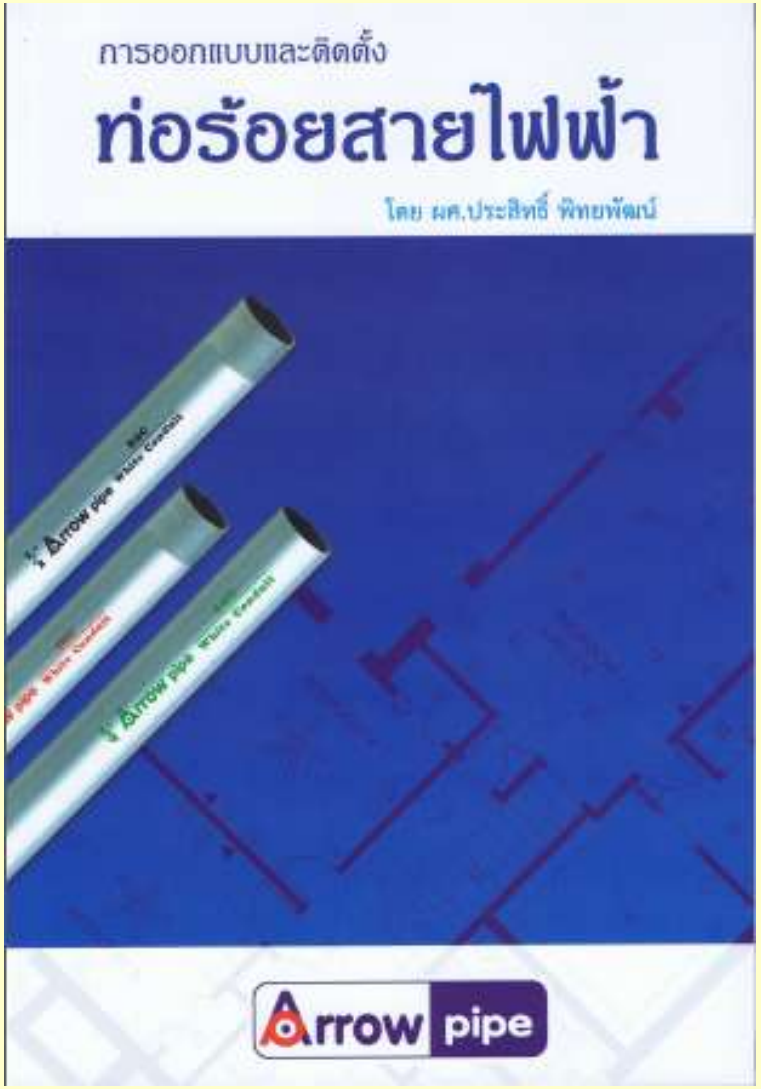

DELIGHT
LIGHTING SYSTEM DESIGN
การออกแบบระบบแสงสว่าง
...Nature of Light
...Vision
...Quantities and Unit
...Light Sources
...Luminaires
...Interior Lighting Design
...Exterior Lighting Design
....Road Lighting Design
....Sport Lighting Design
PRASIT PITTAYAPAT


การออกแบบระบบไฟฟ้า
ELECTRICAL SYSTEM DESIGN
ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 9 ตามมาตรฐาน วสท. 2564
22 kV
22 kV
CT
CT
Fuse 100 A
Fuse 100 A
TR 2000 kVA
22 kV/230-400 V
% Z = 6
TR 2000 kVA
22 kV/230-400 V
% Z = 6
MDB
Main CB
3200AT
Main CB
3200AT
TIE CB = 2560AT
F1
500AT
1600AT
1000AT
1000AT
DB1
DB2
Spare
Spare
Spare
DB3
DB4
Spare
Spare
Spare
ISBN 978-616-594-535-6
ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

คู่มือการออกแบบ
และติดตั้งระบบไฟฟ้า
BCC
BANGKOK CABLE CO., LTD.
ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2


คู่มือตารางสายไฟฟ้า
ตามมาตรฐาน วสท. พ.ศ. 2556
ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์
ISBN 978-616-382-118-8


การป้องกันระบบไฟฟ้า
POWER SYSTEM PROTECTION
Utility Source 115 kV
52
50/51
50N/51N
Surge Arrester (Optional)
49
30 MVA
115 kV/22 kV
87T
83
RES
51G
52
ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์


การออกแบบและติดตั้ง
ท่อร้อยสายไฟฟ้า
โดย ผศ.ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์
Arrow pipe

ประวัติการทำงาน

- **ประวัติการประกอบอาชีพ**

มีประสบการณ์การออกแบบระบบไฟฟ้าของสถานประกอบการเกือบทุกประเภท มากกว่า 50 ปี เช่น

- บ้าน
- อพาร์ทเมนต์
- คอนโดมีเนียม
- สำนักงาน
- โรงพยาบาล
- โรงแรม
- โรงงานอุตสาหกรรม

ประวัติการทำงาน

- **ใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม**
  - **วุฒิวิศวกร**

    สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

    แขนงไฟฟ้ากำลัง

    สภาวิศวกร

ประวัติการทำงาน

สภาวิศวกร

เคยได้รับเลือกเป็น

กรรมการสภาวิศวกร

สมัยที่ 3 พ.ศ. 2549 – 2552

และ

สมัยที่ 4 พ.ศ. 2552 – 2555

ประวัติการทำงาน

วิศวกรรมสถาน

เป็นที่ปรึกษา

อนุกรรมการปรับปรุง

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้า

Electric Circuit

ผศ . ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

ไฟฟ้ากระแสสลับ

AC 1 Phase

1. ทั่วไป

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็น รูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Wave Form)

$$v = V_m \sin \omega t$$

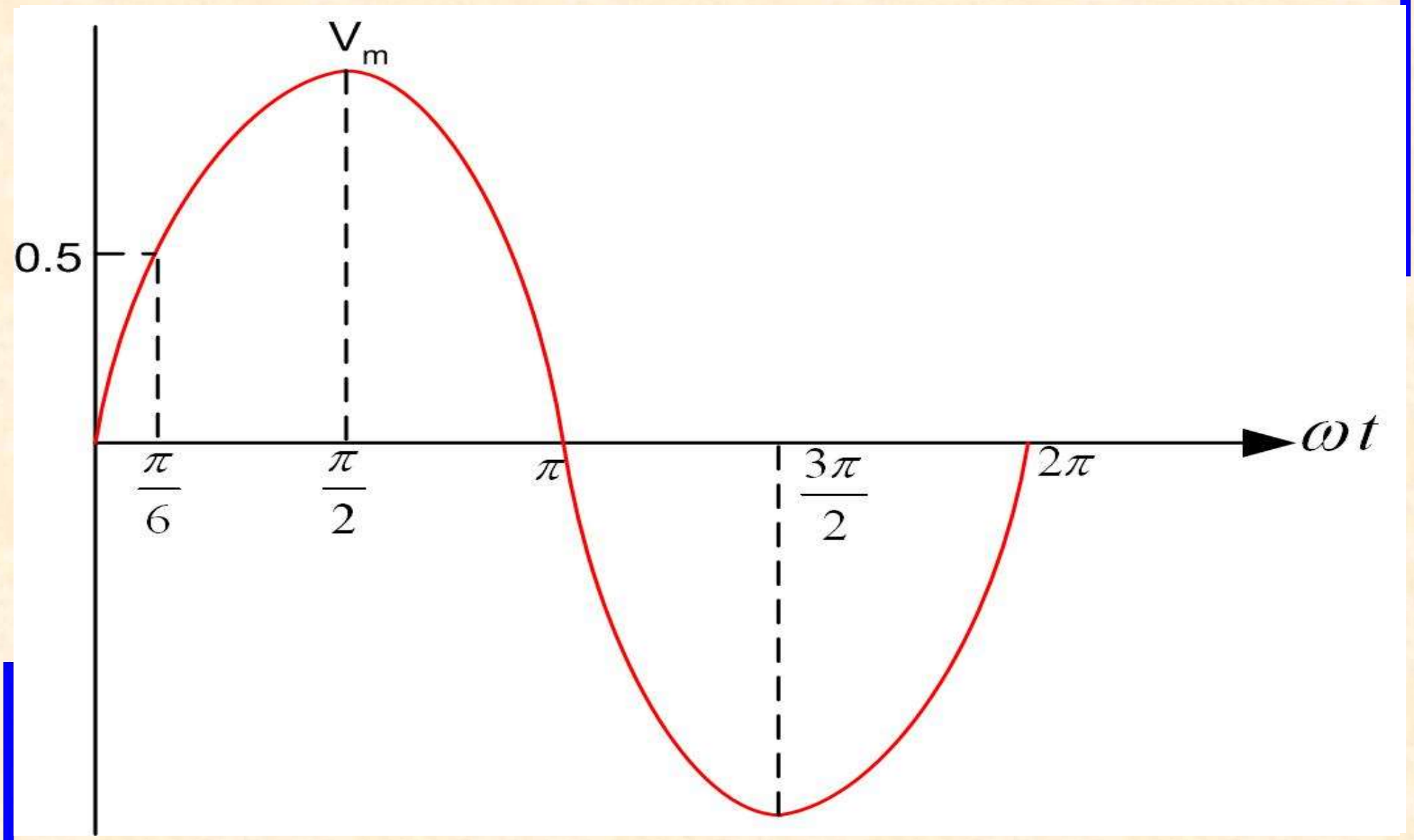
โดยที่

v = แรงดันที่เวลาใดเวลาหนึ่ง (V)

V_m = ค่า Amplitude (V)

ω = ความเร็วเชิงมุม (rad / s)

$= 2 \pi f$



$$v = V_m \sin \omega t$$

ค่า v ที่มุมต่าง ๆ

30^{o} $v = V_m \sin 30^{o} = V_m / 2 = 0.5\, V_m$

45^{o} $v = V_m \sin 45^{o} = 0707\, V_m$

60^{o} $v = V_m \sin 60^{o} = (\sqrt{3} / 2)\, V_m$

90^{o} $v = V_m \sin 90^{o} = V_m$

รูปคลื่น 1 รูป เรียกว่า 1 Cycle

ความถี่ 50 Hz

50 Cycles ใน 1 วินาที

1 Cycle = 1 / 50 = 20 ms.

2. ค่า RMS (Root Mean Square)

- เนื่องจากไฟ AC มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

- ค่า **RMS** หรือ **Effective Value** ของกระแส

  คือ ค่ากระแสที่เท่ากับ กระแสตรง

  ซึ่งไหลผ่านความต้านทาน (R)

  และ ให้ความร้อนเฉลี่ยเท่ากัน

ถ้า

$$i = I_p \, Sin \, \omega t$$

$$I_{eff}^{2} \, R \, x \, t = I_{DC}^{2} \, R \, x \, t$$

$$I_{eff}^{2} \, R = (R / 2 \pi) \int_0^{2\pi} i^{2} \, d\omega t$$

$$= (I_p^{2} / 2) \, x \, R$$

$$I_{eff} = I_p / \sqrt{2}$$

- ในการคำนวณต่าง ๆ ในไฟฟ้า AC

  จะ ใช้ค่า RMS เสมอ

- และค่าต่าง ๆที่ให้ก็จะเป็นค่า RMS

  เช่นไฟฟ้า AC , 1 ph , 230 V

  ค่า 230 V จะเป็นค่า RMS

- $I_{RMS} = i_p / \sqrt{2}$

3. กระแสไฟฟ้า AC ในวงจรไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ส่วนคือ R , L , C

- R คือ Resistance มีหน่วยเป็น Ohm (Ω)

- L คือ Inductance มีหน่วยเป็น Henry (H)

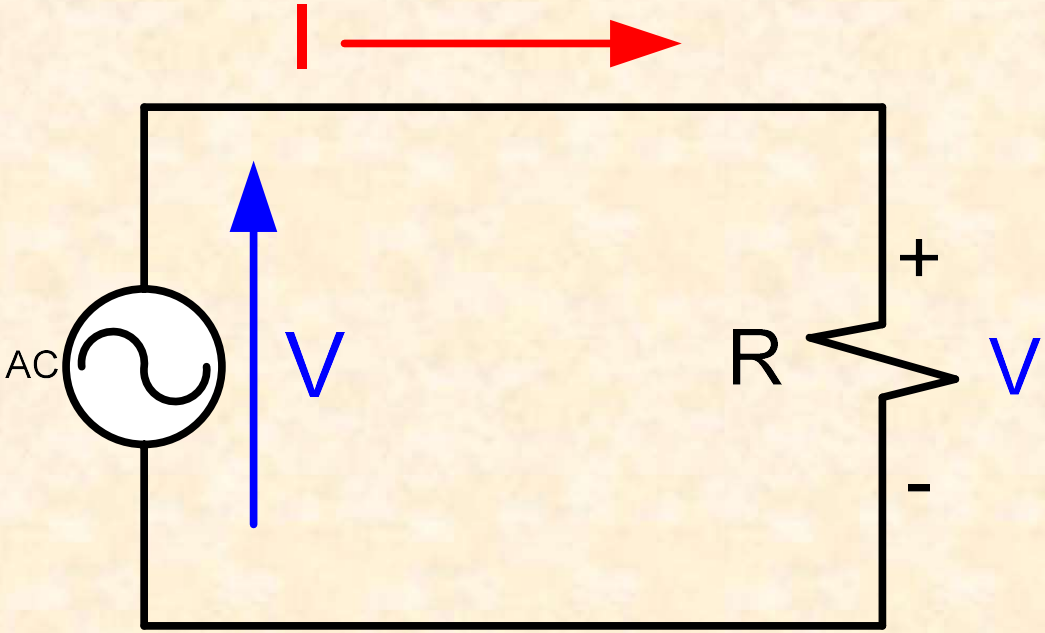
- C คือ Capacitance มีหน่วยเป็น Farad (F)

4. กระแสไฟฟ้า AC ไหลผ่าน R

- R คือ Resistance เป็นตัวนำไฟฟ้า
- เมื่อกระแสไหลผ่าน R จะทำให้เกิดการสูญเสีย ซึ่งจะกลายเป็นความร้อน

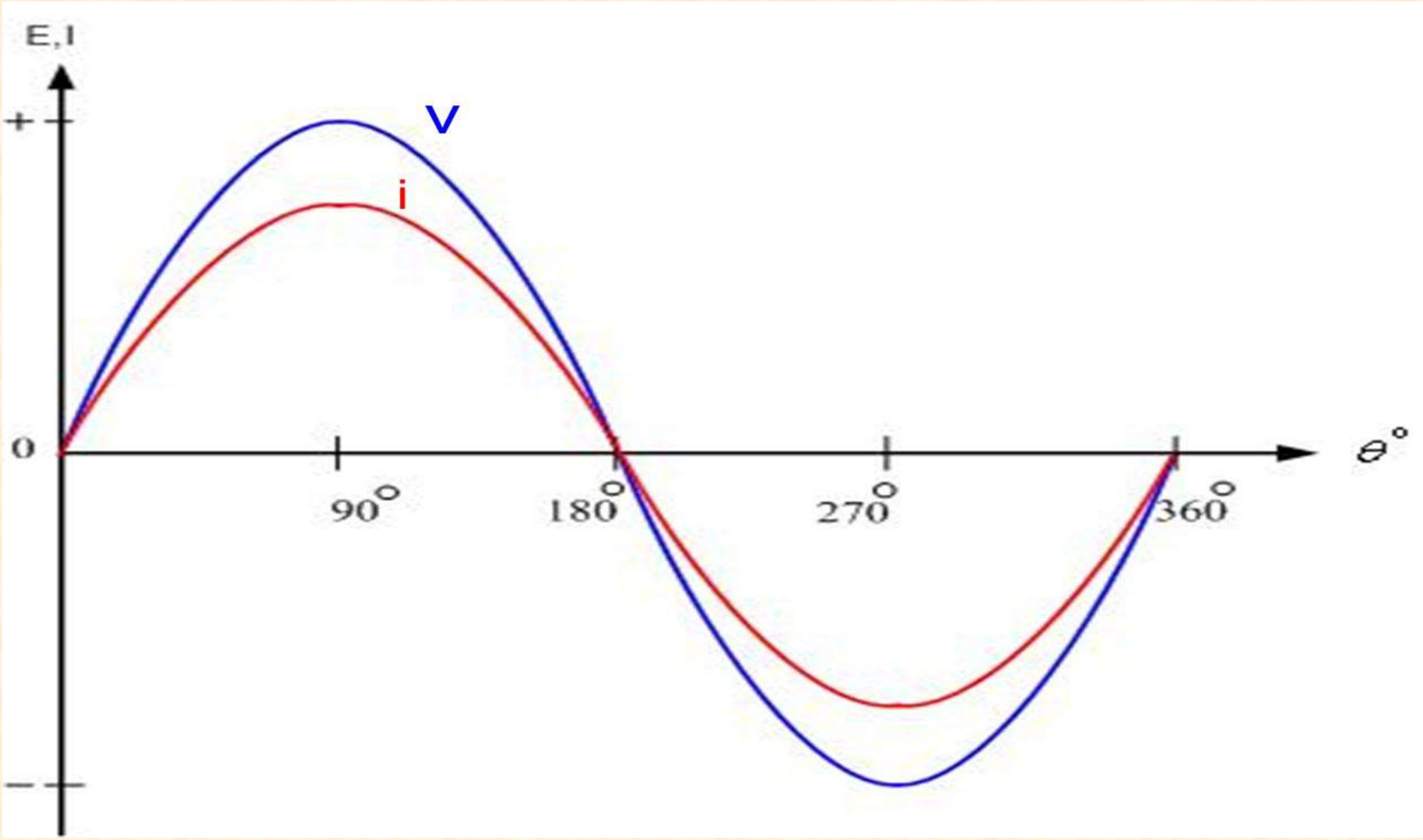
- เมื่อกระแส AC ไหลผ่าน R จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R

- Phasor ของ V , I จะทับกัน หรือ In Phase



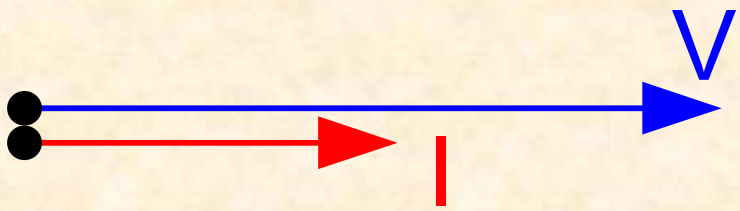
$$V = I \times R$$

$$\therefore \quad I = V / R$$



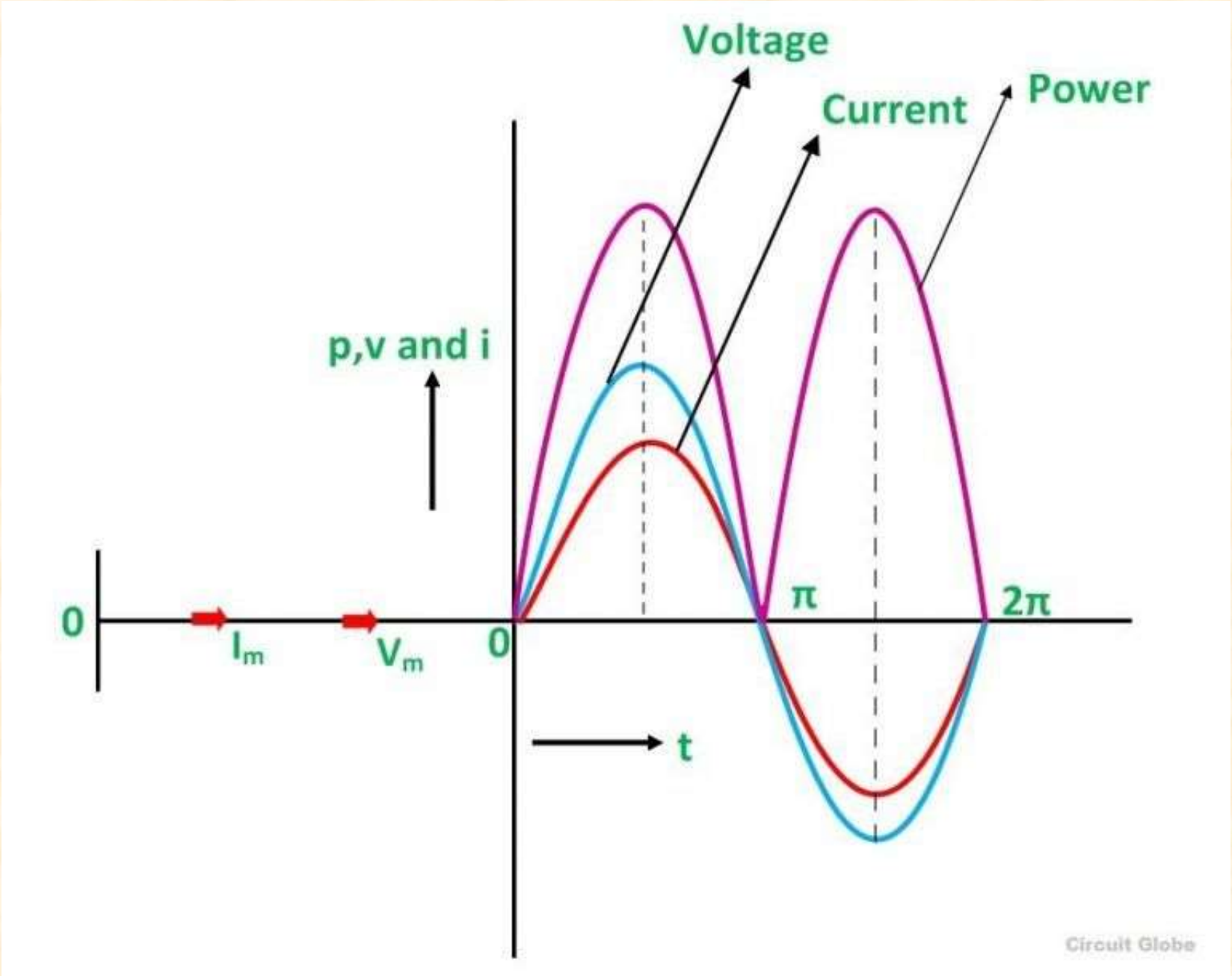
Sine Wave กระแส (I) และ แรงดัน (v) ของ load R

- กระแส (I) และแรงดัน (V) จะทับกัน (In Phase) ดังรูป



- กระแส (I) จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้า (P) ซึ่งคือ กำลังสูญเสีย

$$P = I^2 R \quad (W)$$


Voltage
Current
Power
p,v and i
0
I_m
V_m
0
π
2π
t
Circuit Globe

5. กระแสไฟฟ้า AC ไหลผ่าน L

- L คือ Inductance เป็น ขดลวดพันรอบแกนเหล็ก

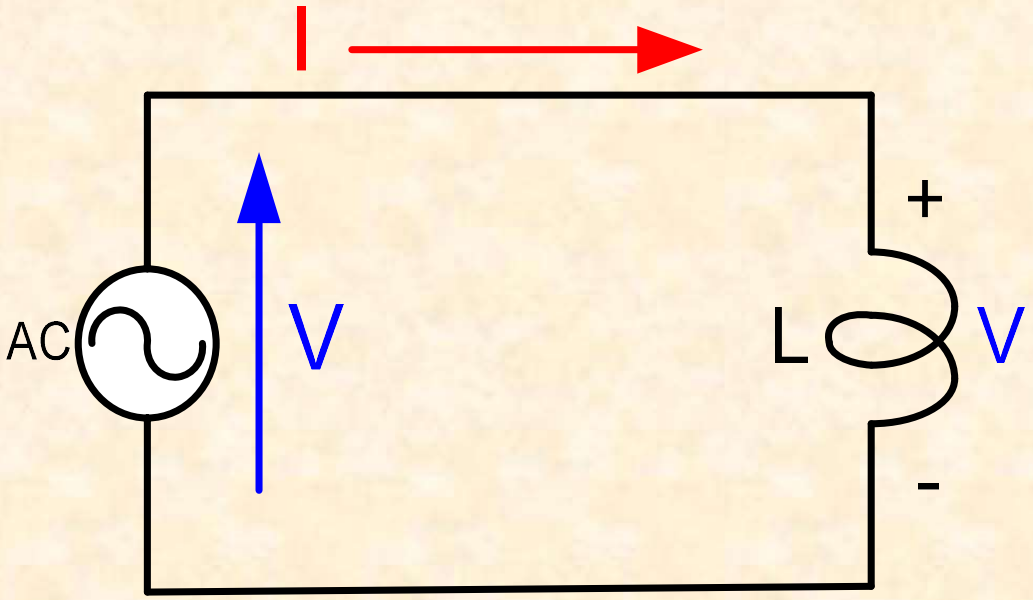
  เมื่อกระแสไหลผ่าน จะสร้างสนามแม่เหล็ก

- เมื่อกระแสไหลผ่าน L

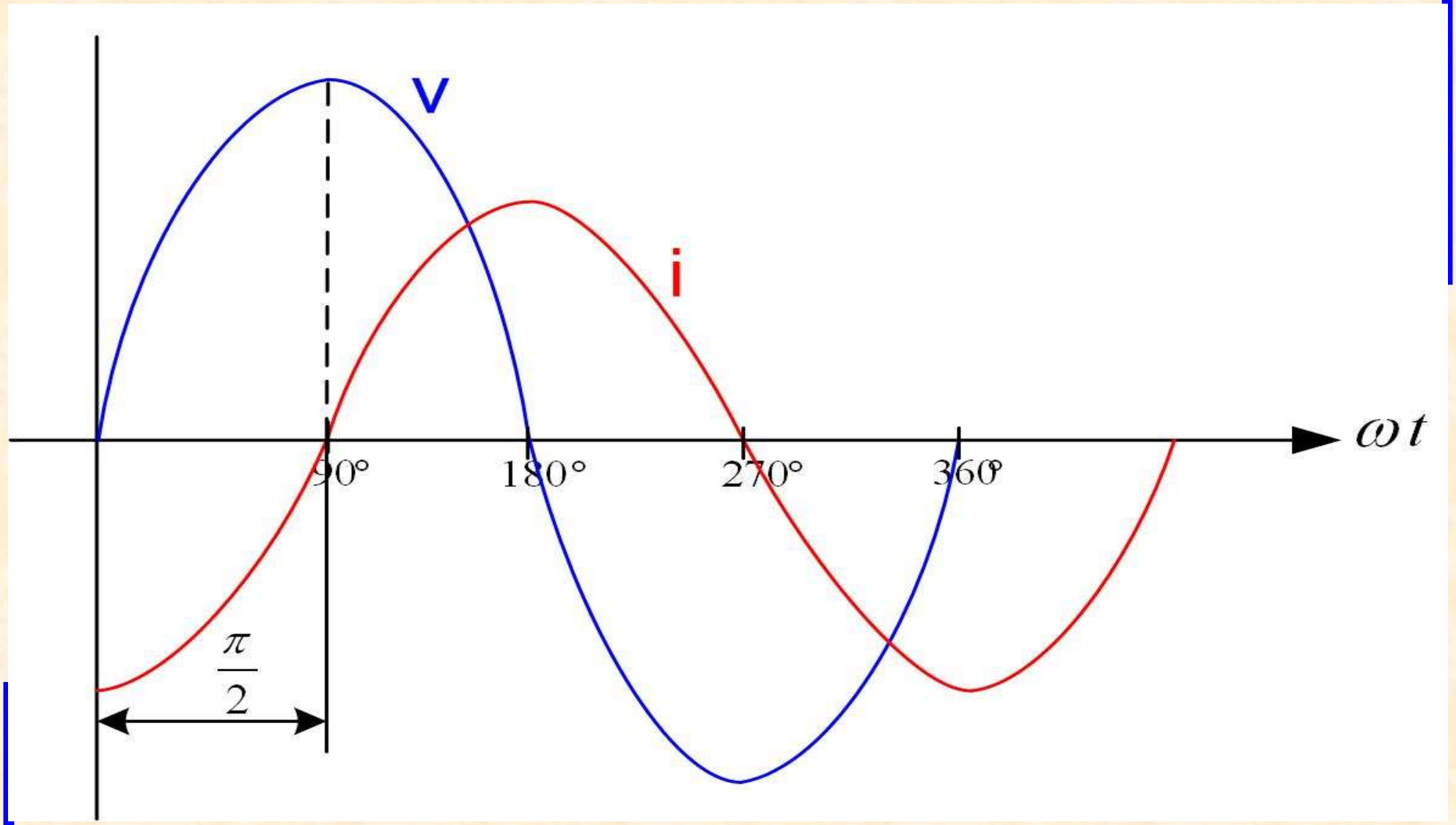
  จะเกิดแรงดันตกคร่อมที่ขดลวด

$$e = L \, di / dt$$

- Phasor I จะตามหลัง Lag V 90^{o}



$$e = L \, di / dt$$



Sine Wave กระแส (I)และแรงดัน (V) ของ Load L

- ค่า Inductive Reactance ของ L

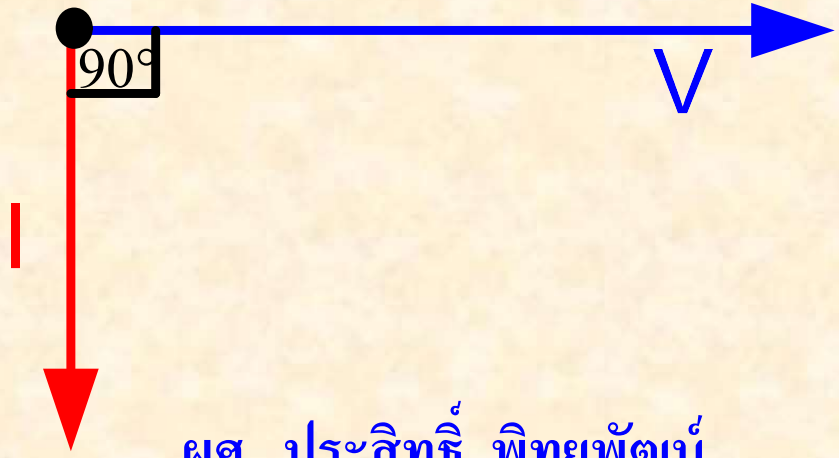
$$X_L = + j \omega L$$

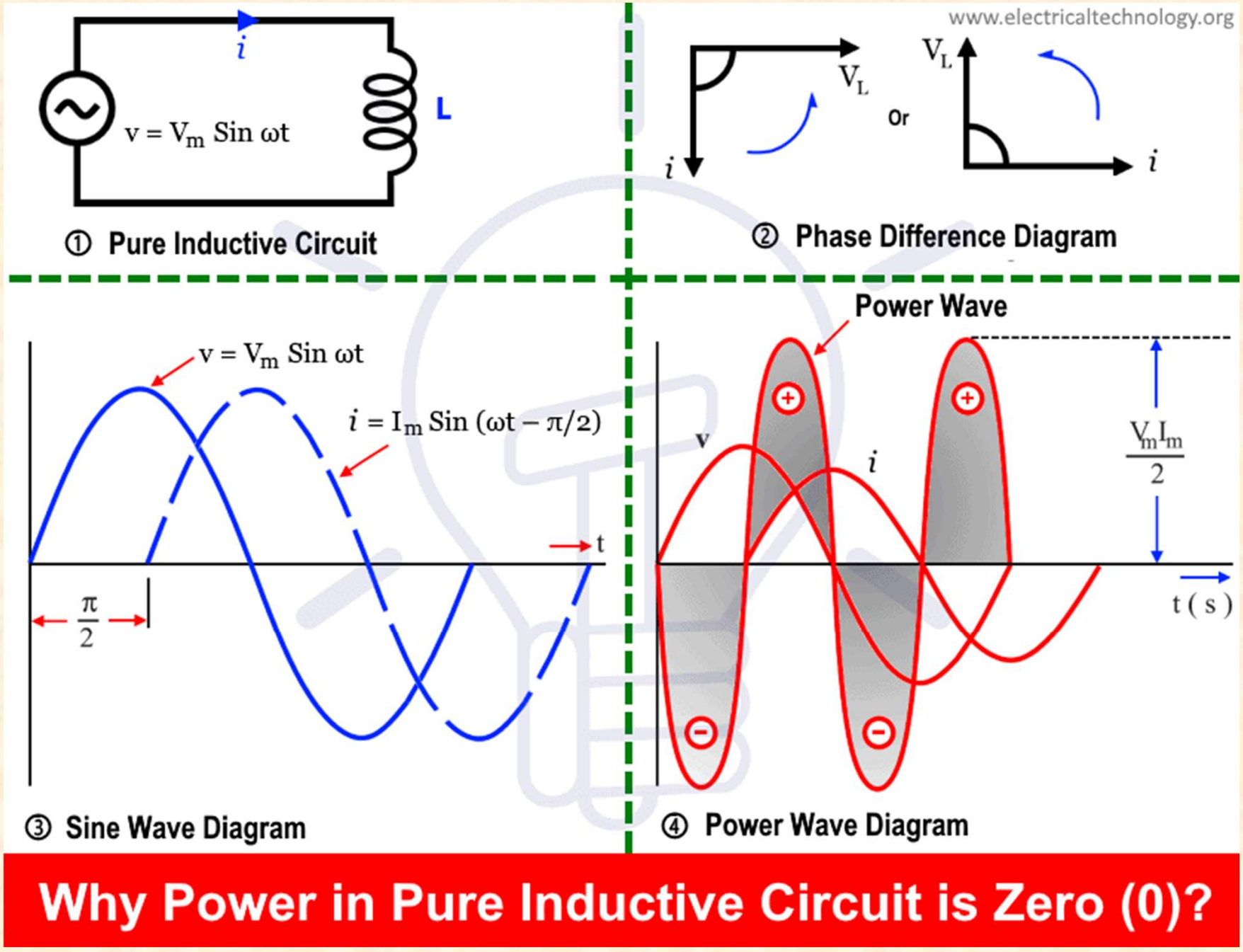
$$= + j 2 \pi f L$$

$$I = V / X_L$$

- เมื่อกระแส AC ไหลผ่าน L กระแส (I)

จะตามหลัง (Lag) แรงดัน (V) อยู่ 90° ดังรูป





Why Power in Pure Inductive Circuit is Zero (0)?

- เมื่อกระแส (I) ไหลผ่าน Pure L

จะไม่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียใน L

$$P_L = 0$$

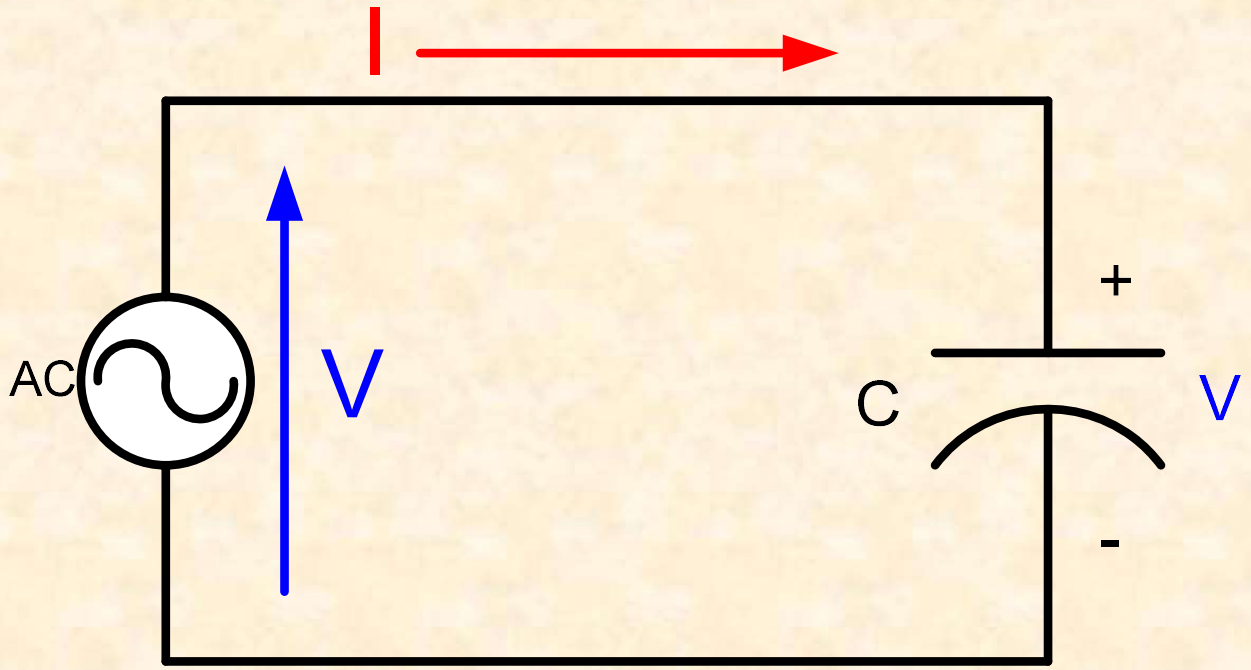
6. กระแสไฟฟ้า AC ไหลผ่าน C

- C คือ Capacitance ซึ่งประกอบด้วยแผ่น Plate 2 อัน ตรงกลางระหว่างแผ่น Plate มี สาร Dielectric
- เมื่อกระแส (I) ไหลผ่าน C จะสร้างสนามไฟฟ้าขึ้น

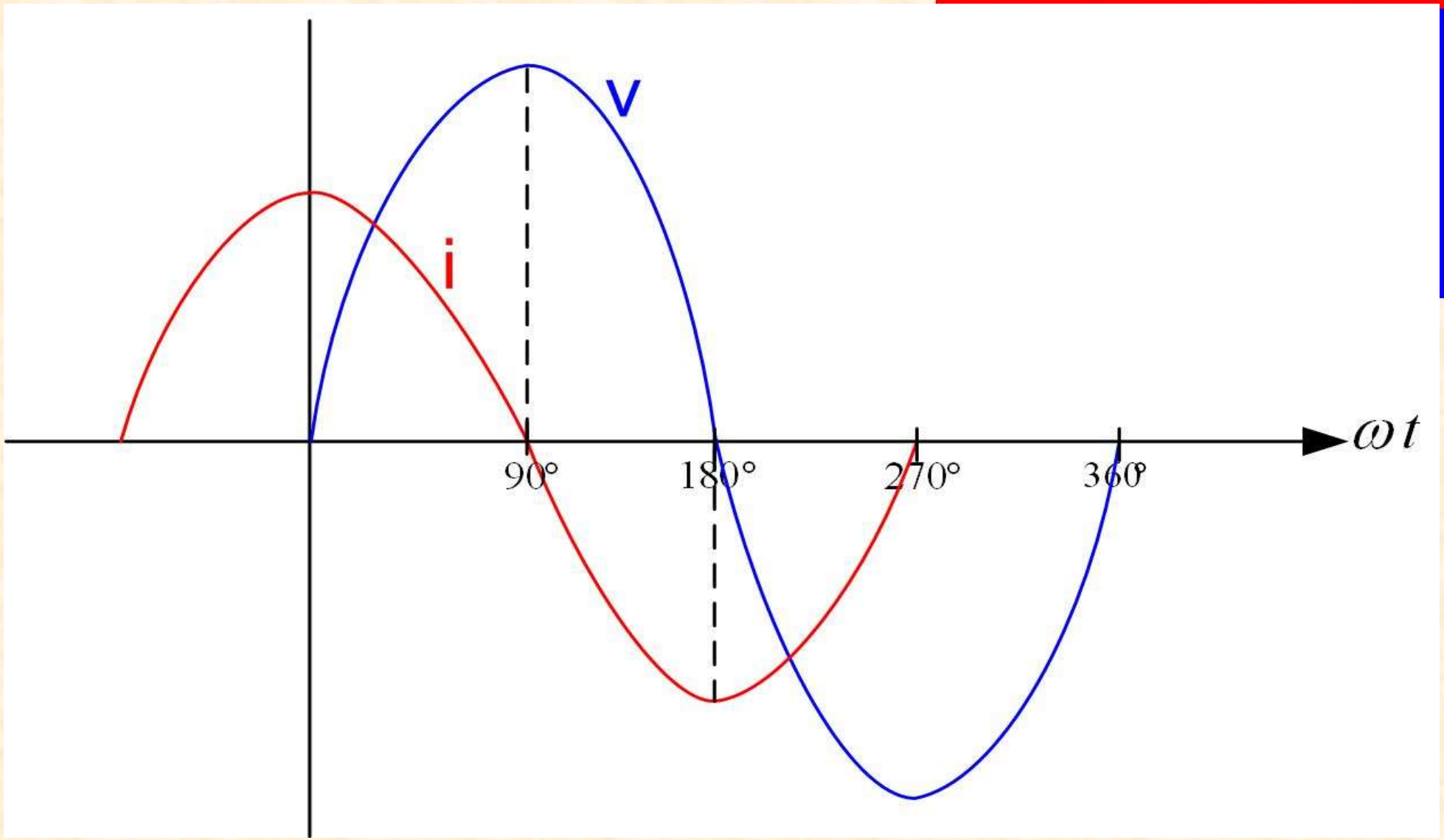
- เมื่อกระแส AC ไหลผ่าน C จะเกิดแรงดันตกคร่อมที่ C

$$v = \int i \, dt$$

- Phasor I จะนำหน้า Lead V 90^{o}



$$v = \int i \, dt$$



Sine Wave กระแส (I)และแรงดัน (V) ของ Load C

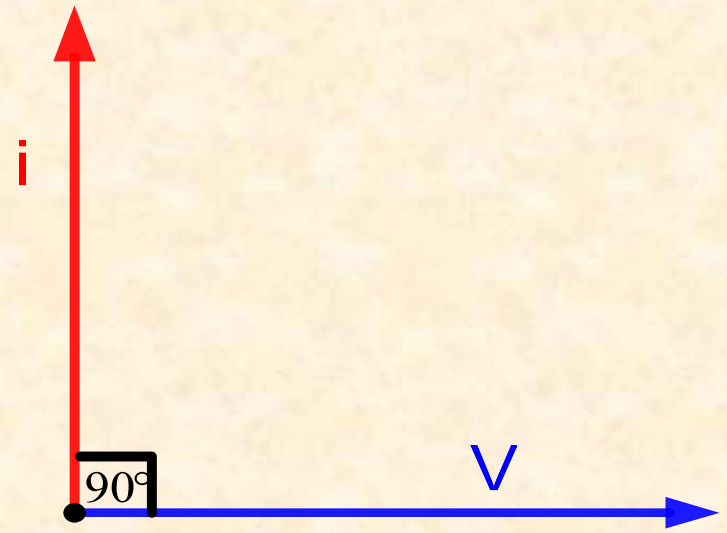
- ค่า Capacitive Reactance ของ C

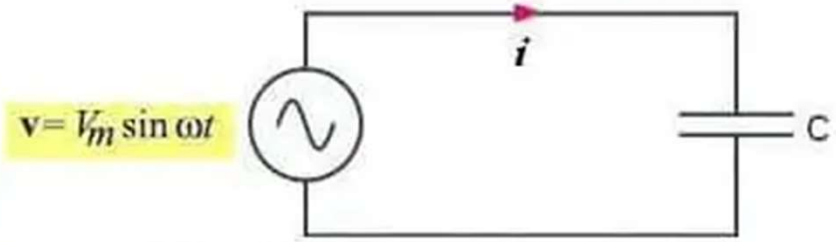
$$X_C = 1 / (j \omega C) = 1 / (j 2 \pi f C)$$

$$= - j / (2 \pi f C)$$

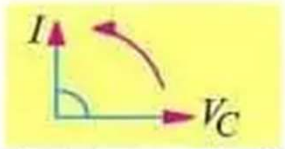
$$I = V / X_C$$

- กระแส (I) จะนำ (Leading) แรงดัน (V) อยู่ 90°

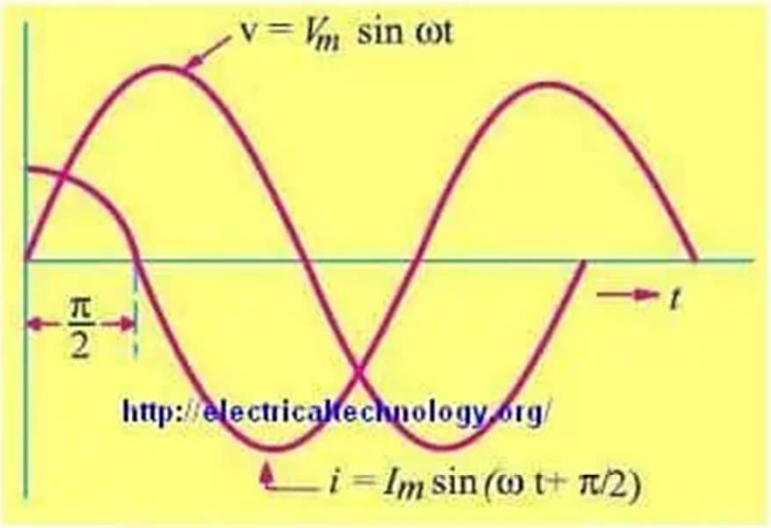




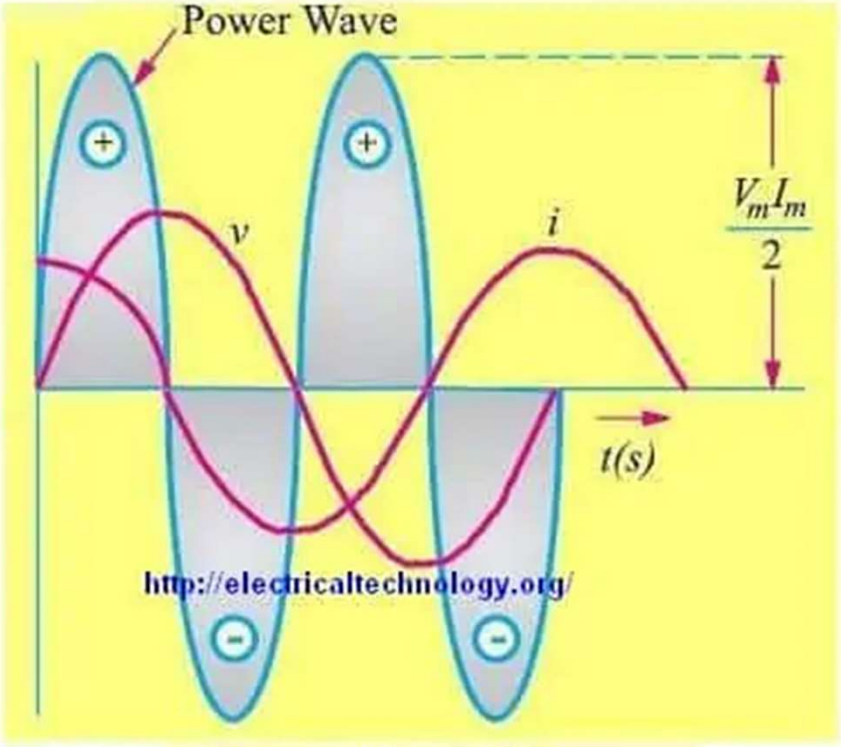
(1) Pure Capacitve Digram



(2) Phase Difference Diagram



(3) SineWave Diagram



(4) Power Wave Diagrame

Why Power in pure Capacitive Circuit is Zero (0)?

- สำหรับ **Pure Capacitor**

- เมื่อมีกระแสไหลผ่าน C

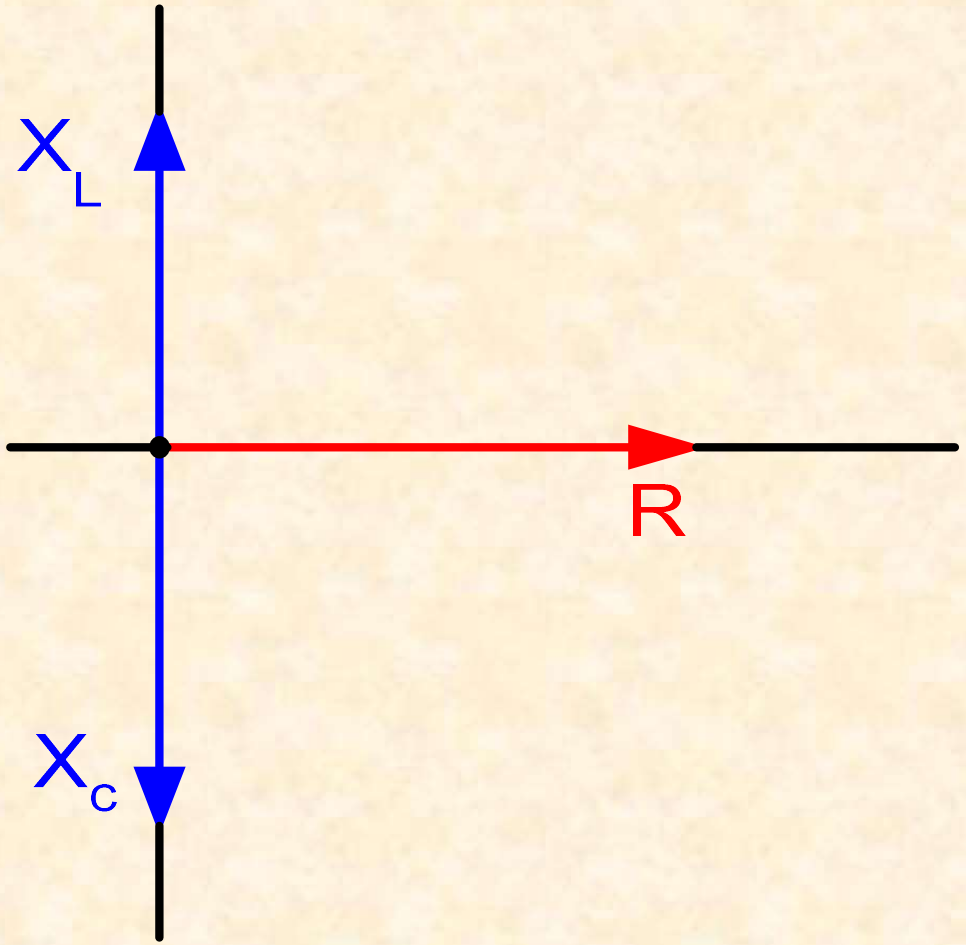
  จะไม่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

$$P_C = 0$$

7. Impedance

- วงจรไฟฟ้า AC มีส่วนที่จำกัดกระแสคือ R , L , C
- เมื่อ R , L , C มารวมกันเรียกว่า Impedance (Z)

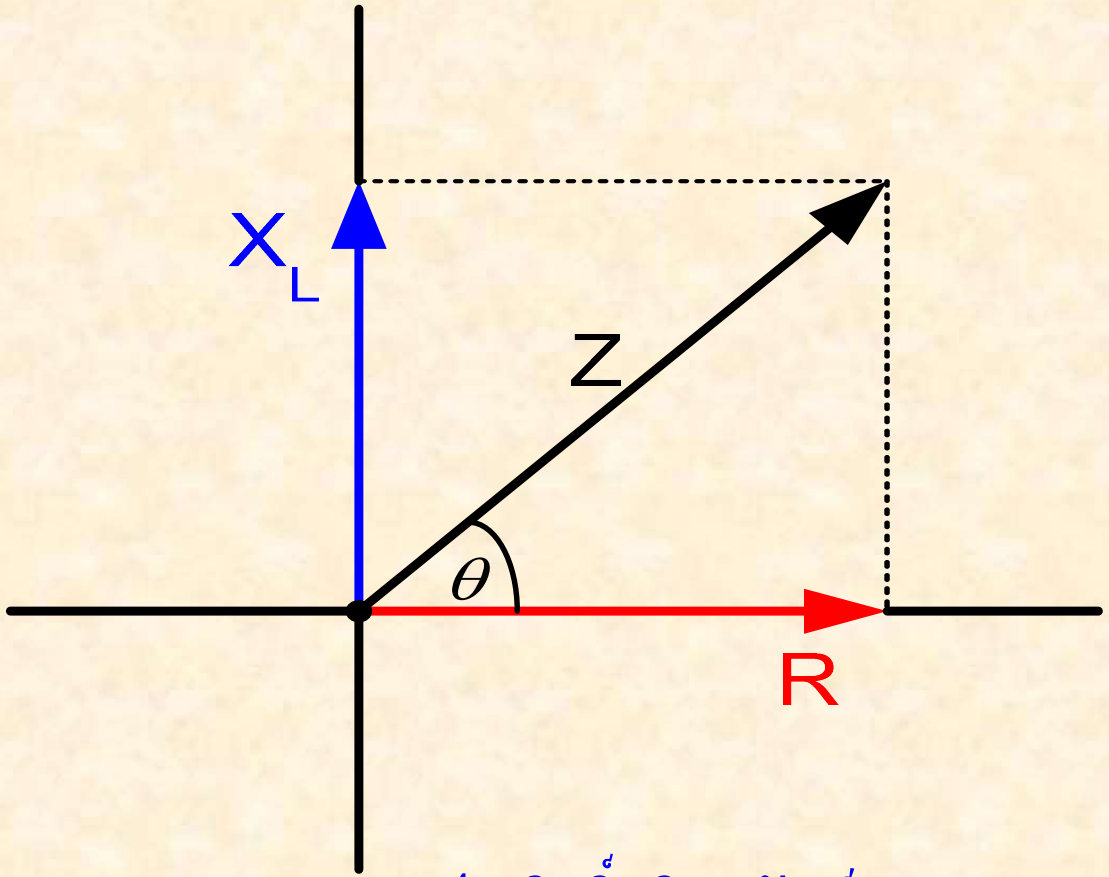
- Impedance (Z) มีหน่วยเป็น (Ω)
- ค่า Z อาจเขียนเป็น Phasor

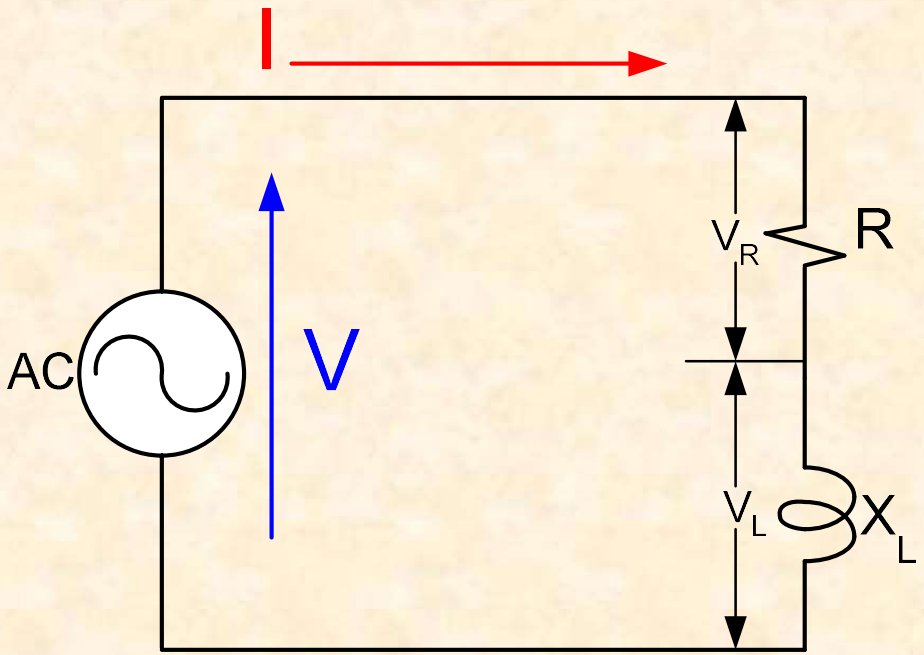


Phasor ของค่า Z

8. วงจร R , L

- วงจรไฟฟ้า AC ส่วนมาก ประกอบไปด้วย R และ X_L
- Phasor ของ $Z = R + jX_L$ เขียนได้





$$I = V / Z$$

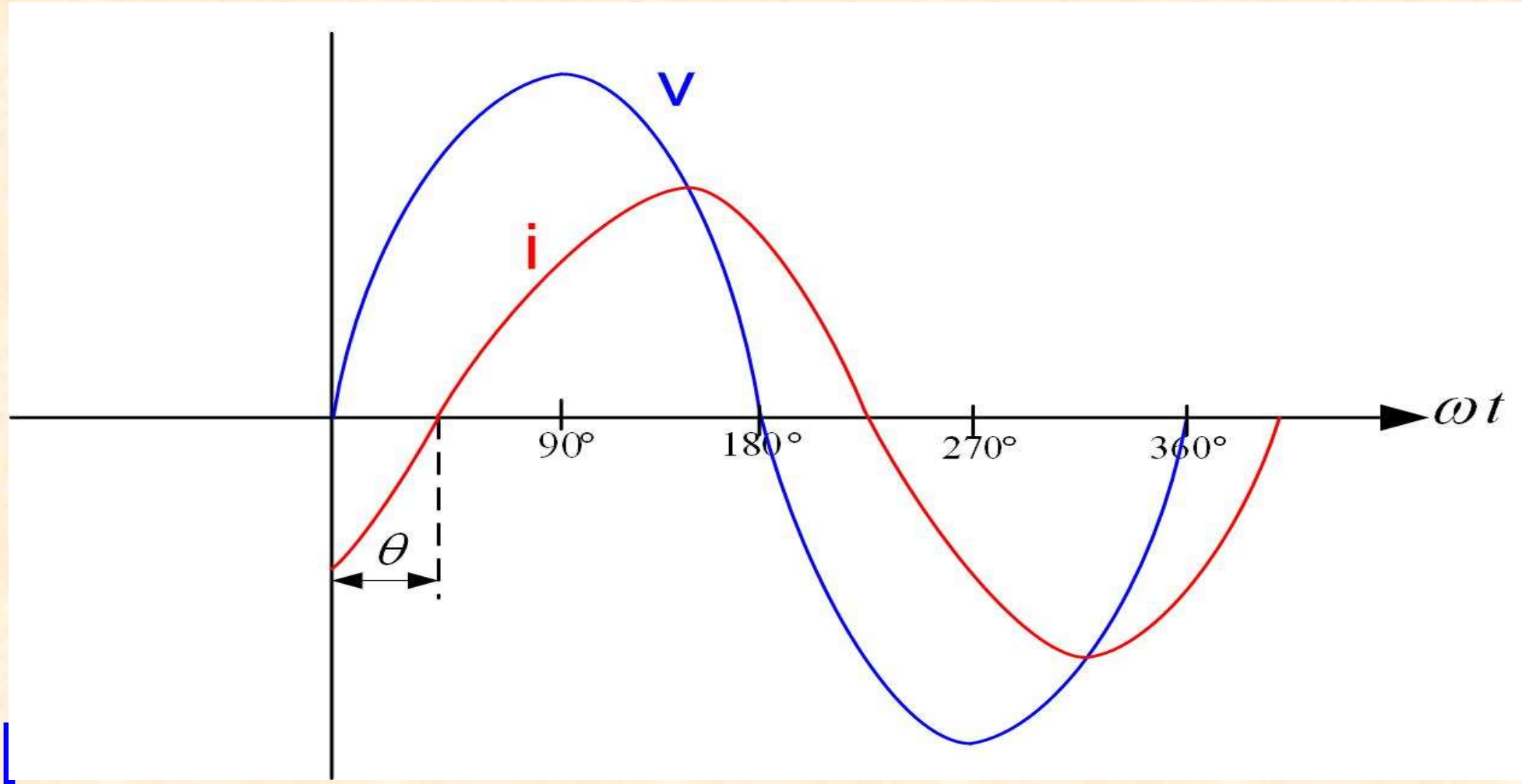
$$Z = R + j X_L$$

$$Z = R + j X_L$$

$$\theta = \tan^{-1} (X_L / R)$$

$$\cos \theta = R / Z$$

$$= \text{Power Factor (P.F.)}$$



Sine Wave กระแส (I)และแรงดัน (V) ของ Load R , L

I Lag V ด้วยมุม θ

- I จะ Lag V ด้วยมุม θ
- กำลังไฟฟ้าจะสูญเสียใน R อย่างเดียว

$$P = I^2 R$$

$$= I \times (V/Z) \times R$$

$$= V \times I \times (R/Z)$$

$$= V I \cos\theta$$

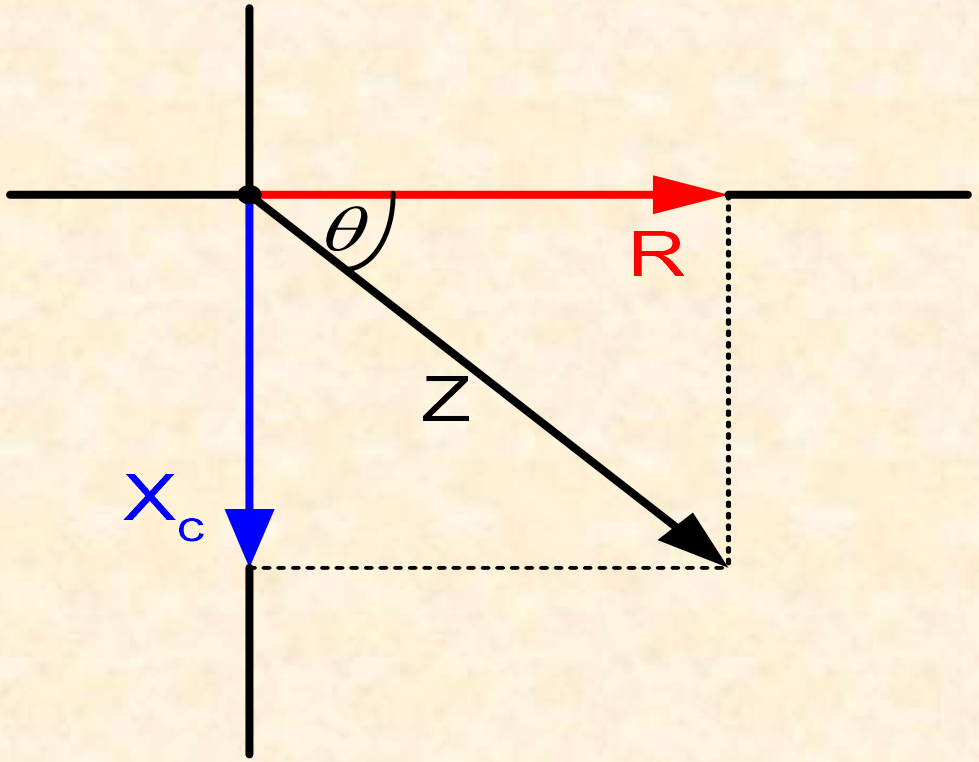
$$\cos\theta = R/Z = \text{Power Factor}$$

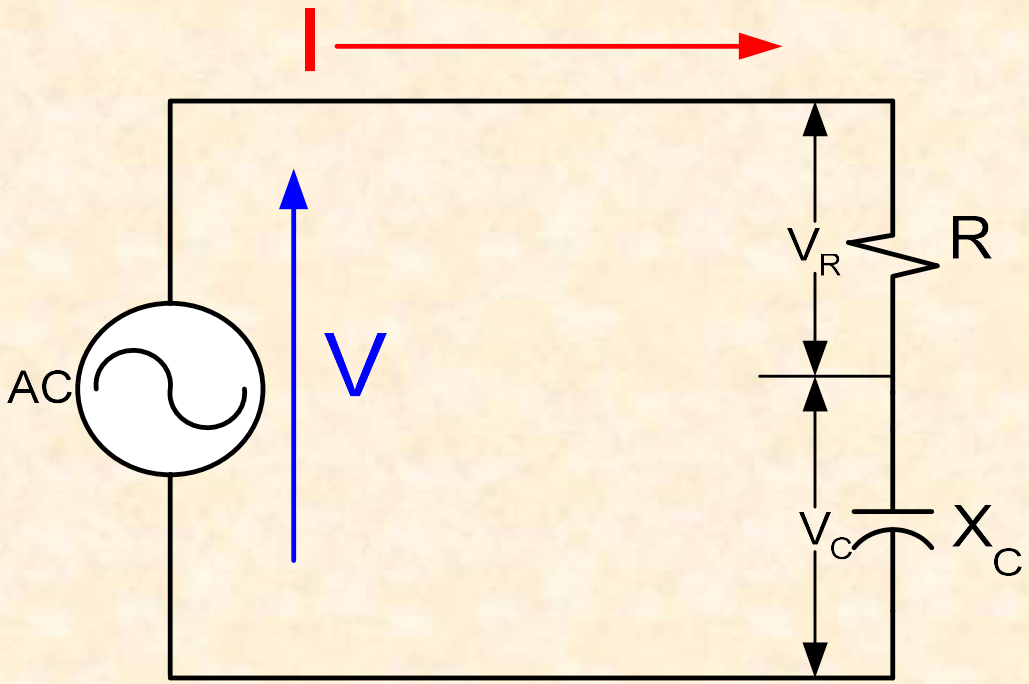
$$\therefore \quad P = V I \cos\theta$$

9. วงจร R , C

- Phasor ของ $Z = R - j X_c$ จะเขียนได้

$$|Z| = \sqrt{(R^2 + X_C^2)}$$

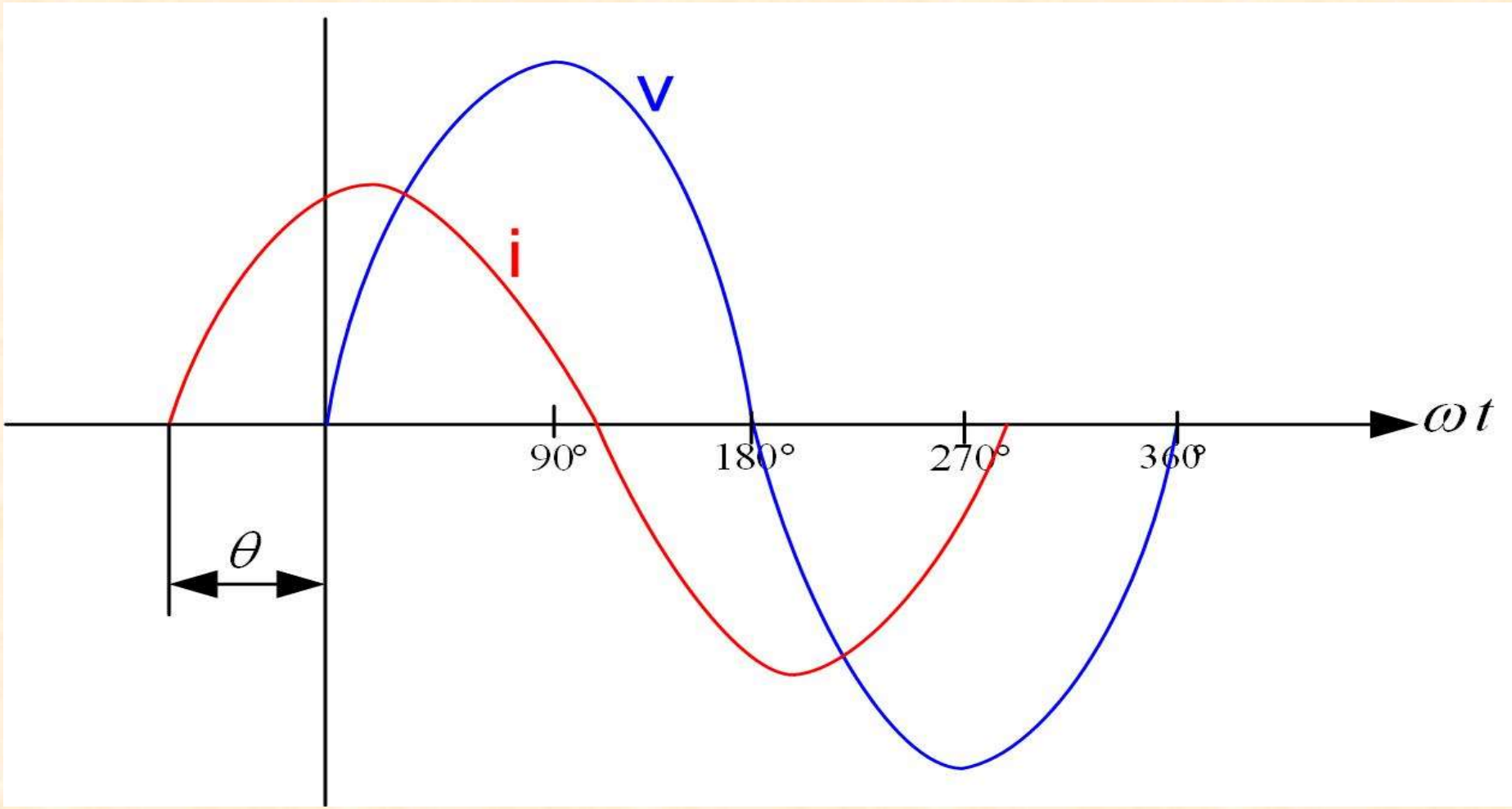




$$I = V / Z$$

$$Z = R - j X_C$$

- โดยที่กนะแส (I) จะ Lead เรงดัน (V) ด้วยมุม θ



Sine Wave กระแส (I)และแรงดัน (V)

I จะนำ Lead V ด้วยมุม θ

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียใน R อย่างเดียว

$$P = I^2 R$$

$$= I \times (V/Z) \times R$$

$$= V \times I \times (R/Z)$$

$$= V \times I \cos\theta$$

$$\therefore \quad P = V I \cos\theta$$

10. Power Factor

- กำลังไฟฟ้า AC นั้นหาได้จากกำลังสูญเสียใน R อย่างเดียว

$$P = I^2 R = V I \cos\theta$$

- ดังนั้น P จะหาได้โดยเอา V และ I คูณกัน

และคูณด้วย $\cos\theta$

$$P = V I \cos\theta$$

$\cos\theta$ เรียกว่า Power Factor (P.F.)

$$\therefore \quad \cos\theta = P / (V I)$$

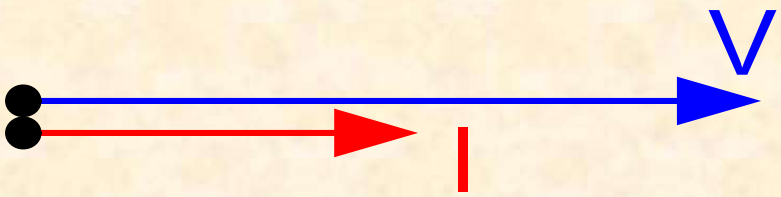
$$= R / Z$$

- ในวงจร R เพียงอย่างเดียว เนื่องจาก

  กระแส (I) และ แรงดัน (V) จะทับกัน

  มุมระหว่าง กระแส (I) และแรงดัน (V) จะเท่ากับ 0

$$\cos \theta = 1$$

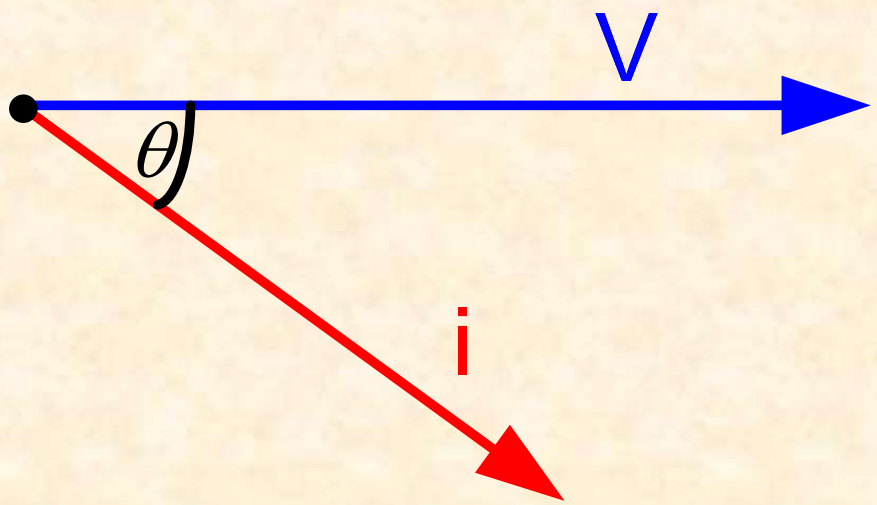


I , V In Phase

P. F. = 1

- วงจร R , L กระแส (I) จะ Lag แรงดัน (V) ด้วยมุม θ

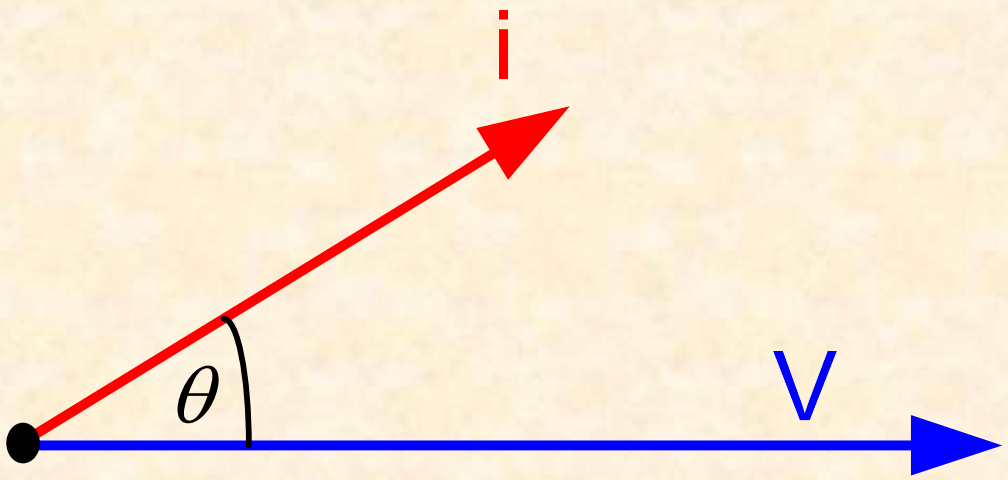
$$P.F. = \cos\theta$$



P.F. Lagging

- วงจร R , C กระแส (I) จะ Lead แรงดัน (V) ด้วยมุม θ

P.F. = cos θ



P.F. Leading

11. Harmonics

- ในอดีต Load ไฟฟ้าส่วนมากเป็น

  แบบเชิงเส้น (Linear Loads)

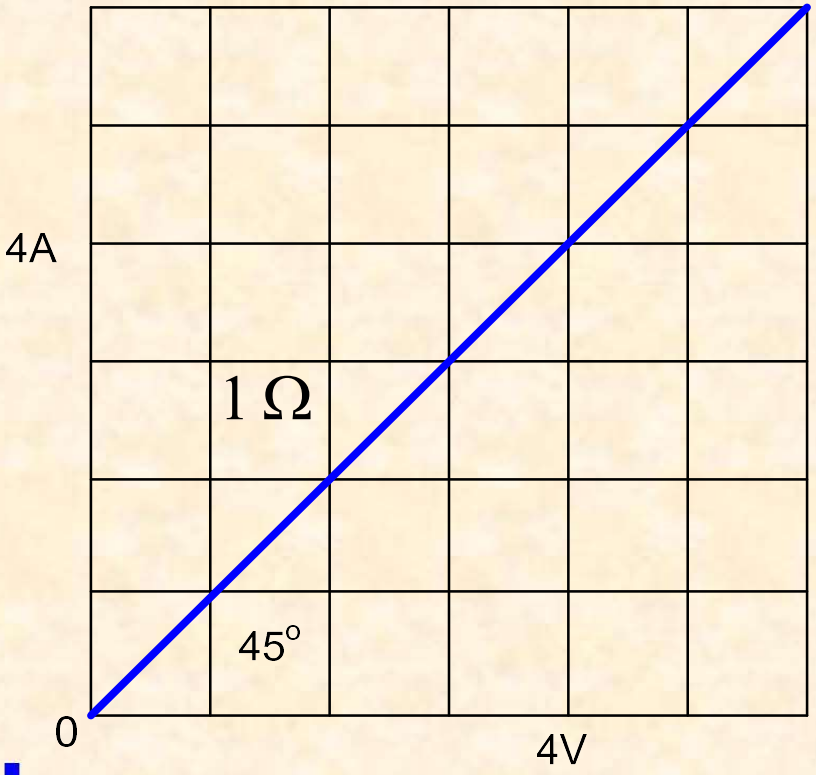
  การทำงานของไฟฟ้าจึงไม่มีปัญหา

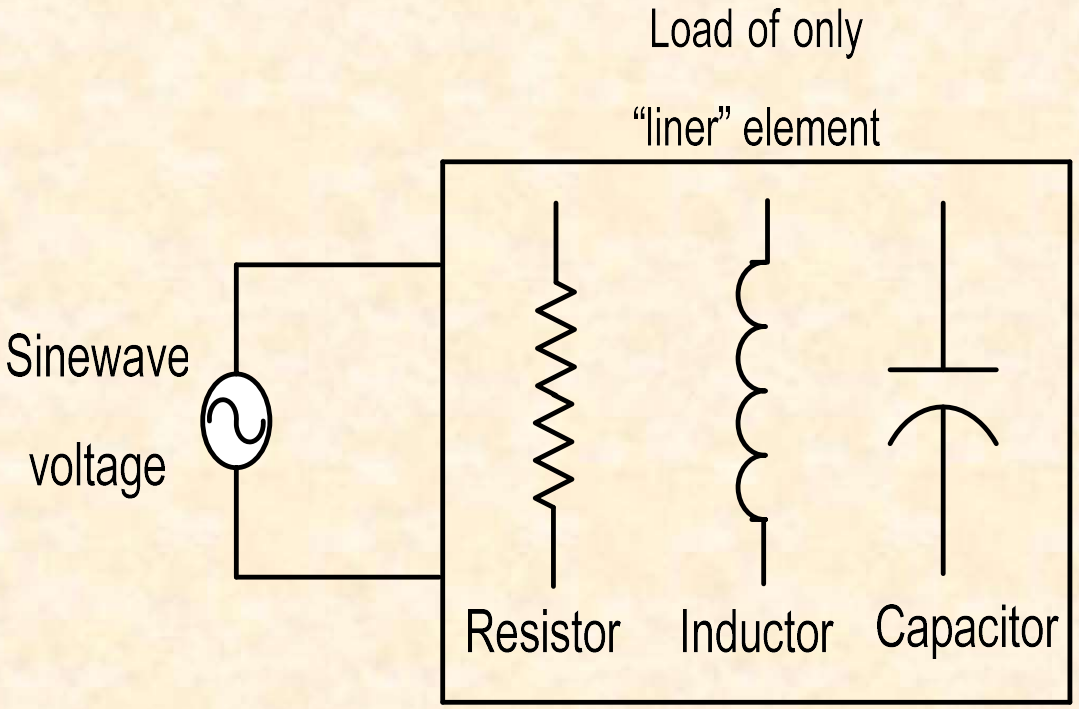
- เมื่อมีการใช้ Electronic Devices มากขึ้น

  อุปกรณ์เหล่านั้น

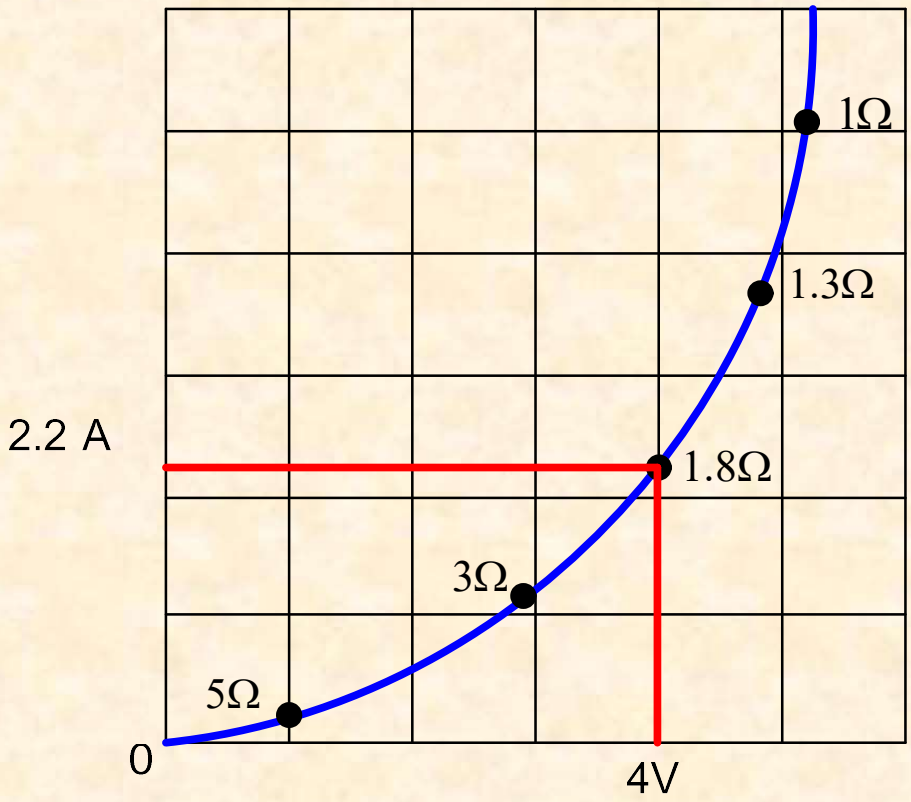
  ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Loads)

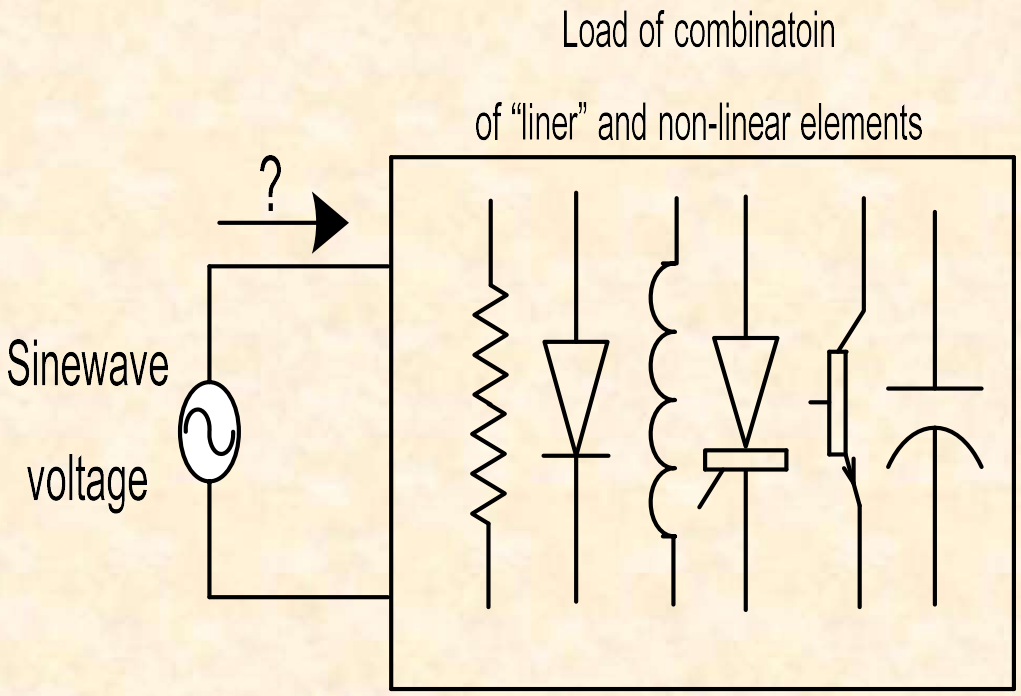
  จึงทำให้ เกิด Harmonics ขึ้น


4A
1 Ω
45°
0
4V


Load of only
"liner" element
Sinewave
voltage
Resistor
Inductor
Capacitor

Linear Load

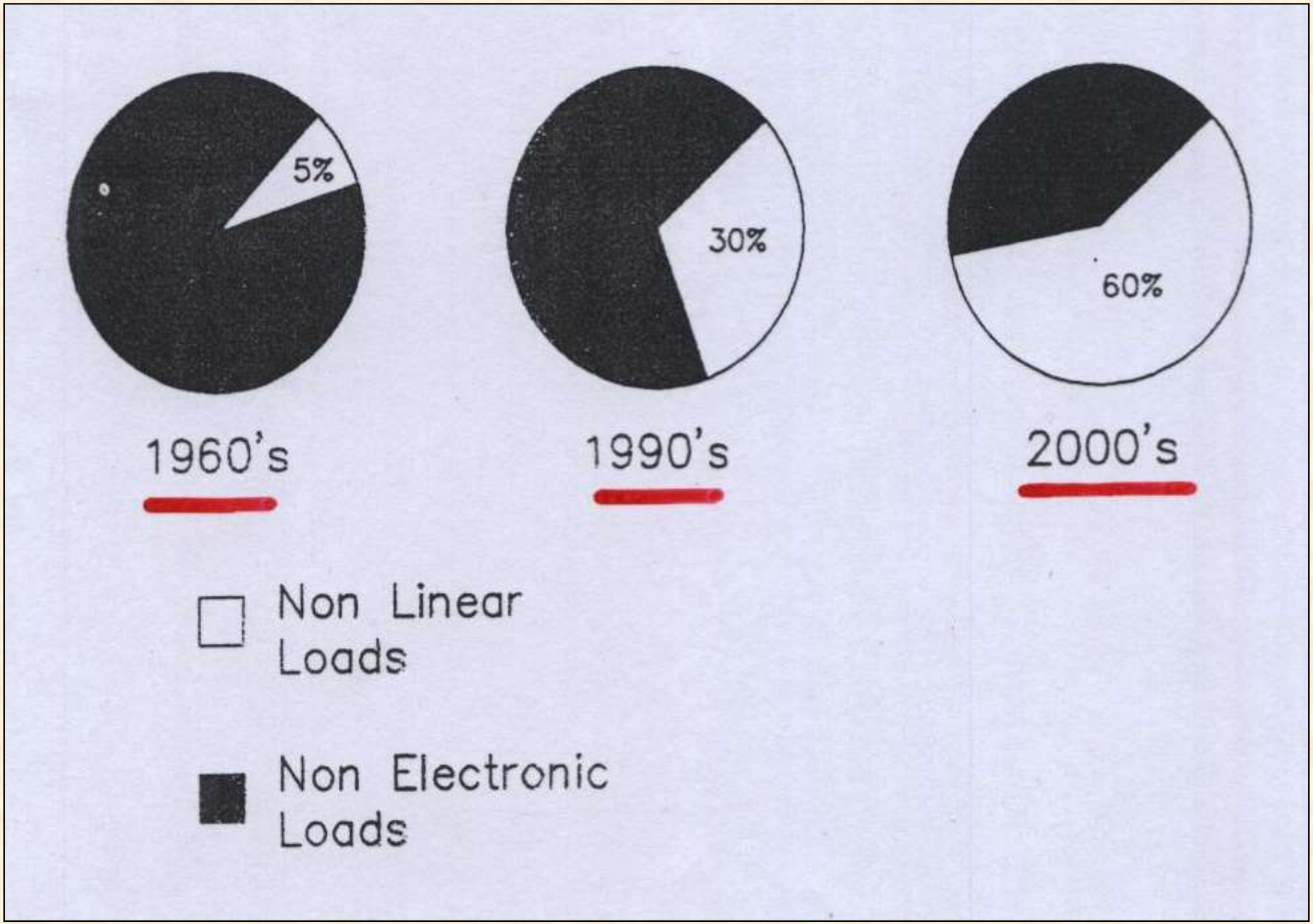




Non-linear Load

- Harmonics จะสร้างปัญหาอย่างมาก
  กับระบบ ไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้า
  โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Capacitors

- จากการสำรวจการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า
  ใน สหรัฐอเมริกาปริมาณการเพิ่มขึ้นของ
  Non- linear Loads เป็นดังนี้


5%
30%
60%
1960's
1990's
2000's
Non Linear Loads
Non Electronic Loads

นิยาม

Harmonics คือ แรงดันและกระแสรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Waveform) ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูลโดยเรียกจำนวนเท่าของความถี่หลักมูลว่าระดับ Harmonic สูตรทั่วไป

$$V = V_{DC} + \sum_{i=1}^{n} V_i \sin(\omega_i t)$$

$$= V_{DC} + V_1 \sin(\omega_1 t) + V_2 \sin(\omega_2 t) + \ldots + V_n \sin(\omega_n t)$$

$$I = I_{DC} + \sum_{i=1}^{n} I_i \sin(\omega_i t)$$

$$= I_{DC} + I_1 \sin(\omega_1 t) + I_2 \sin(\omega_2 t) + \ldots + I_n \sin(\omega_n t)$$

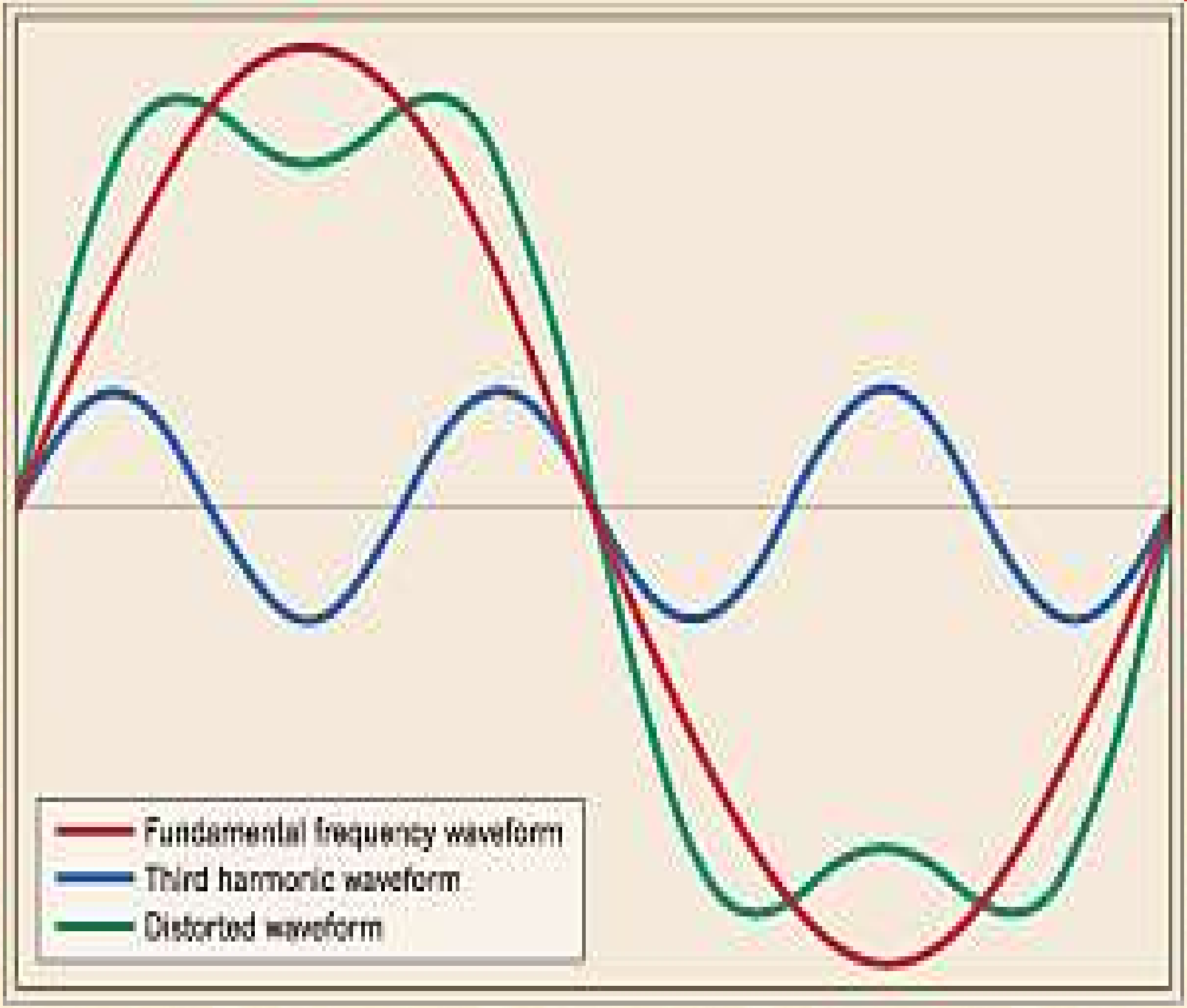
โดยที่

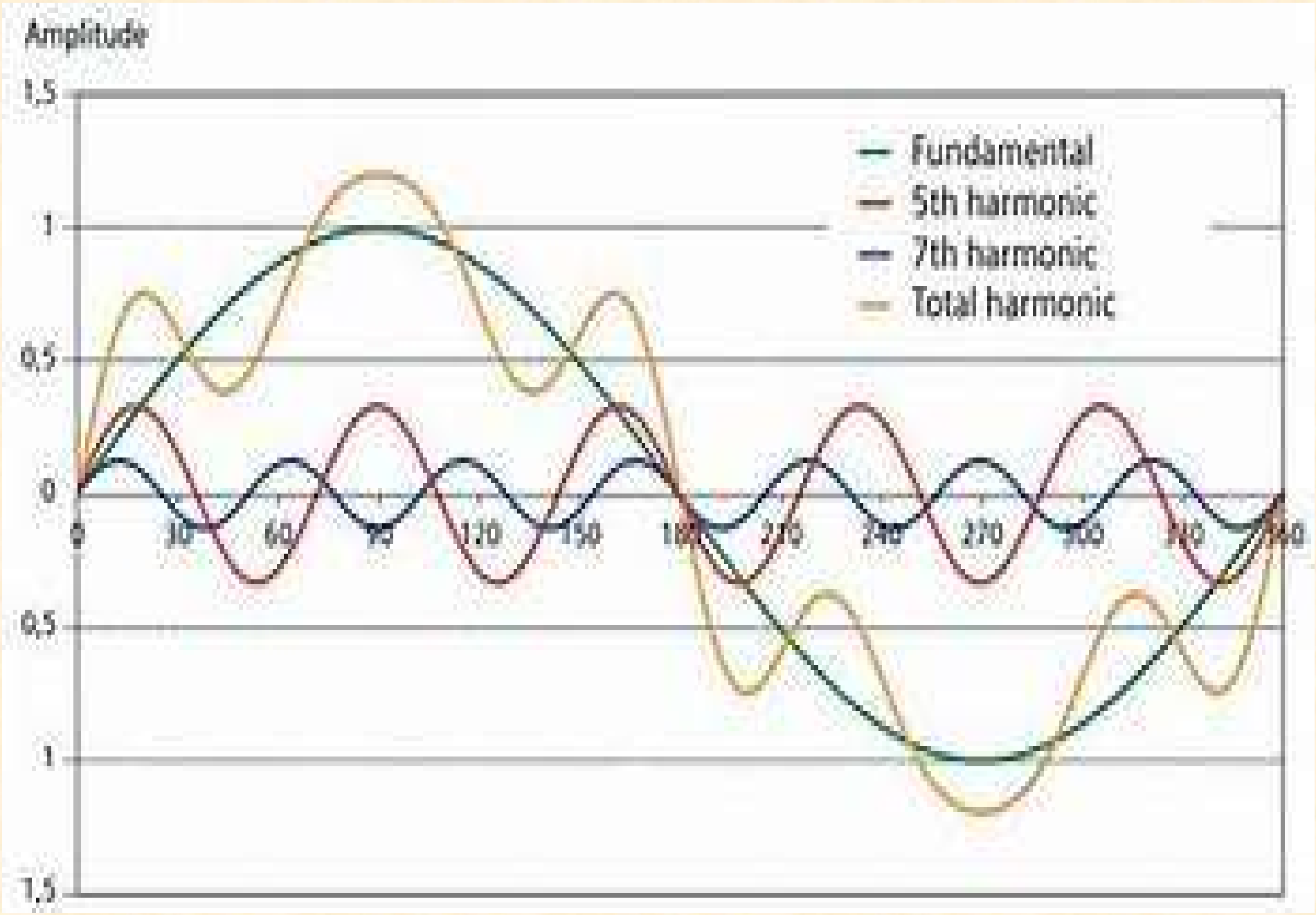
$$\omega_1 = 2\pi f_1 \rightarrow \ f_1 = 50 \text{ Hz (Fundamental)}$$

$$\omega_2 = 2\pi f_2 \rightarrow f_2 = 2f_1 = 100 \text{ Hz } (2^{nd} \text{Harmonic})$$

$$\omega_3 = 2\pi f_3 \rightarrow f_3 = 3f_1 = 150 \text{ Hz } (3^{rd} \text{Harmonic})$$

กรณีที่ความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูลจะเรียกว่า Interharmonic


Fundamental frequency waveform
Third harmonic waveform
Distorted waveform


Amplitude
1,5
1
0,5
0
0,5
1
1,5
Fundamental
5th harmonic
7th harmonic
Total harmonic

ปริมาณ Harmonics ในระบบไฟฟ้ากำลัง

อาจหาได้จาก Total Harmonic Distortion (THD)

ค่า THD สามารถคำนวณกระแสได้ดังนี้

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{H} C_n^2}}{C_1} \times 100$$

ค่า THD มี 2 แบบคือ

THD กระแส THD (I)

THD แรงดัน THD (U)

โดยที่

n = ลำดับของ Harmonic

H = ลำดับสูงสุดของ Harmonic

Cn = ปริมาณ Harmonic ลำดับที่ n (V , A)

C_1 = ปริมาณที่ Fundamental Frequency (V , A)

ถ้า Fundamental Frequency = 50 Hz

Harmonic 2 order = 100 Hz

Harmonic 3 order = 150 Hz

Harmonic 5 order = 250 Hz

$$THDi = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \ldots + I_n^2}}{I_1}$$

$$THD = \left(\frac{\sqrt{(V_2^{\,2} + V_3^{\,2} + V_4^{\,2} + \cdots + V_n^{\,2})}}{V_1} \right) * 100$$

ตัวอย่าง กระแสไฟฟ้ามีค่า

$$i = 110 \sin \omega t + 33 \sin 3\omega t + 20 \sin 5\omega t + 13 \sin 7\omega t$$

ให้หาค่า THD

$$THD = \sqrt{(33^2 + 20^2 + 13^2)} / 110$$

$$= 0.3702 \times 100$$

$$= 37.02\ \%$$

แหล่งกำเนิด Harmonics

คือ โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Loads)
อาจแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ

- Power Electronics
- Ferromagnetic Devices
- Arcing Devices

a . Power Electronics

โหลดเหล่านี้ คือ

- Rectifiers
- Variable Speed Driver
- UPS
- Inverter
- etc

b. Ferromagnetic Devices

โหลดเหล่านี้ คือ

- Transformers
- Magnetic Ballasts

c. Arcing Devices

โหลดเหล่านี้ คือ

- Arc Furnaces

ผลของ Harmonics ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

Harmonics ในระบบไฟฟ้า
จะส่งผลต่อระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าดังนี้

a. Rectifiers

ทำให้ Misfiring ของ Thyristers

b. Motors

กำลังสูญเสียจะเพิ่มขึ้น และเกิด Hamonic Torque

c. Transformers

กำลังสูญเสียจะเพิ่มขึ้น

และเกิด **Stress** ต่อฉนวน

d. Control Equipment

มีการรบกวนต่อการทำงานของระบบควบคุม

อาจทำให้ระบบควบคุมทำงานผิดพลาด

f. สาย Neutral

Harmonic ที่สาม กระแสจะรวมกัน

ทำให้สาย **Neutral** เกิด **Overload** ได้

12. Resonance

- วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มี L , C
- $X_L = +j\omega L = +j2\pi f L$

  $X_C = 1/(j\omega C) = 1/(j2\pi f C)$

  $= -j/(2\pi f C)$
- ที่ความถี่หนึ่ง $X_L = X_C$ และจะหักล้างกันหมดไป

  เรียกว่าเกิด Resonance
- Resonance มี 2 แบบ

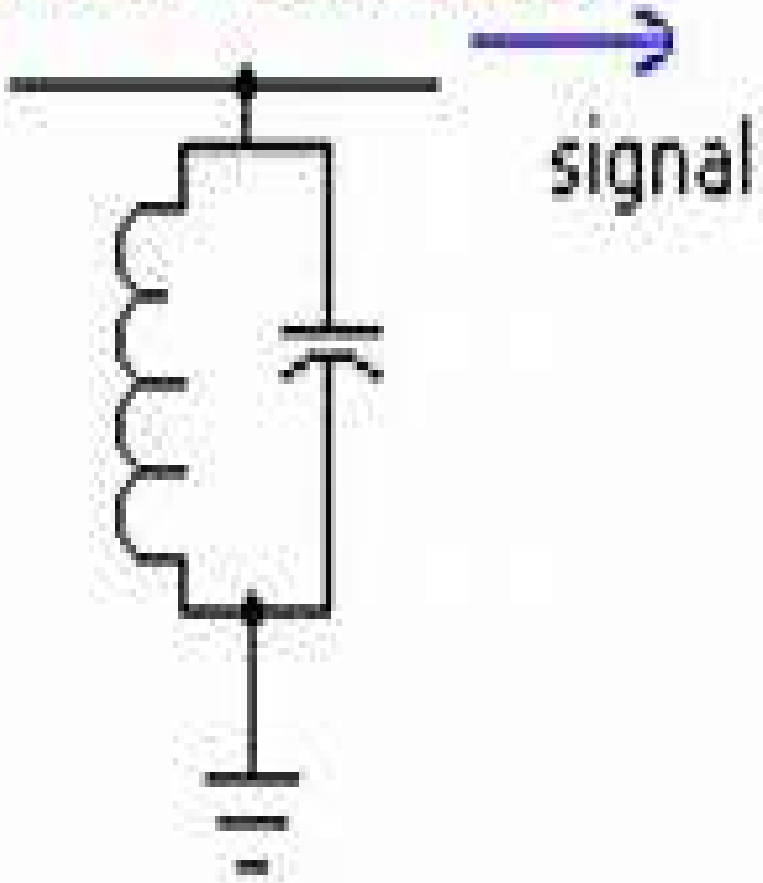
  Series Resonance

  Parallel Resonance

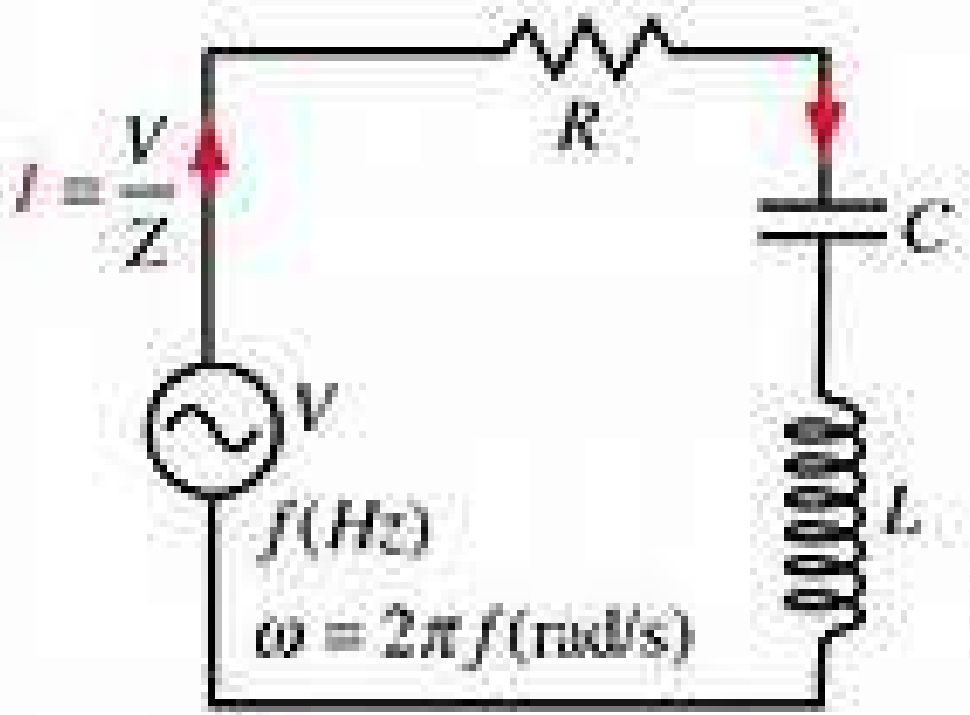
series resonance

min Z at
series resonance

parallel resonance



max Z at
parallel resonance



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

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \qquad X_L = \omega L$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

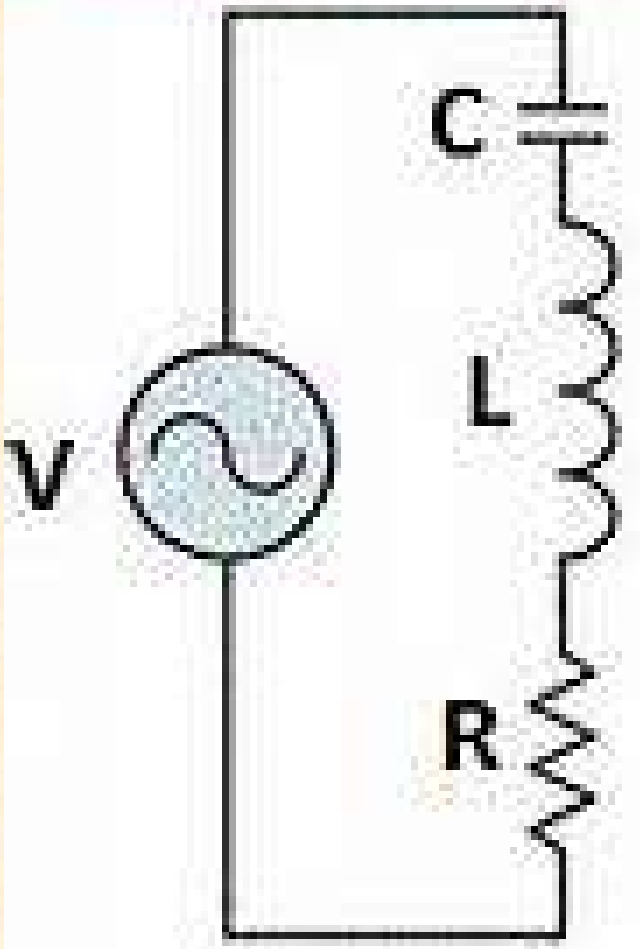
$$Phase = \phi = \tan^{-1}\left[\frac{X_L - X_C}{R}\right]$$

At series resonance:

$$Z = R \qquad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$X_C = X_L \qquad Phase = \phi = 0$$

Series Resonant Circuit

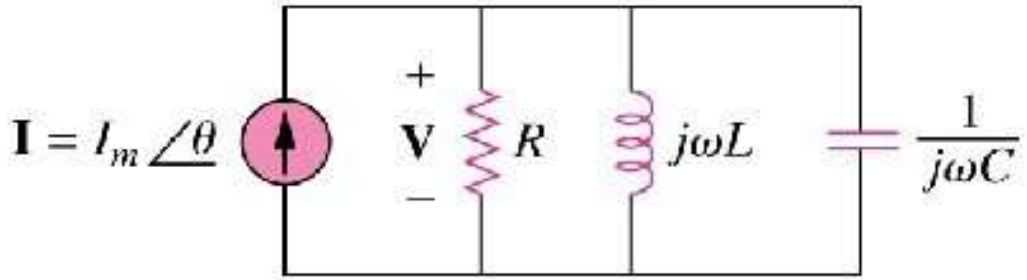


At resonance

* $X_L = X_C$
* $f_r = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
* $Z_s = R\,(\text{min.})$
* $I = \dfrac{V}{R}\,(\text{max.})$

PARALLEL RESONANCE

- Resonance is a condition in an RLC circuit in which the capacitive and inductive reactances are equal in magnitude, resulting in a purely resistive impedance.
- Parallel resonance circuit behaves similarly but in opposite fashion compared to series resonant circuit.
- The admitance is minimum at resonance or impedance is maximum.



$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Parallel resonant circuit.

$$Y = H(\omega) = \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{V}} = \frac{1}{R} + j\omega C + \frac{1}{j\omega L} = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

Resonance occurs when admitance is purely resistive

$$\mathrm{Im}(Y) = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad \Rightarrow \quad \omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} \qquad \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ rad/sec}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

วงจรไฟฟ้า Single Phase

ตัวอย่างที่ 1 ไฟฟ้ากระแสสลับมีแรงดัน

$v = 325 \sin 314 t$

ให้หาค่า V_m , V , f

ถ้า t = 17 ms , v จะเป็นเท่าใด

วิธีทำ

V_m = Amplitude

= ค่าสูงสุด

= 325 V

$V = RMS$

$= 325 / \sqrt{2}$

$= 230\ V$

$\omega = 314 = 2\pi f$

$f = 314 / 2\pi$

$= 50\ Hz$

t = 17 ms

v = 325 Sin (314 x 17 / 1000)

= 325 Sin (5.338)

5.338 เป็น radians

π radian = 180º

5.338 = 180 x5.338 / π = 305.85º

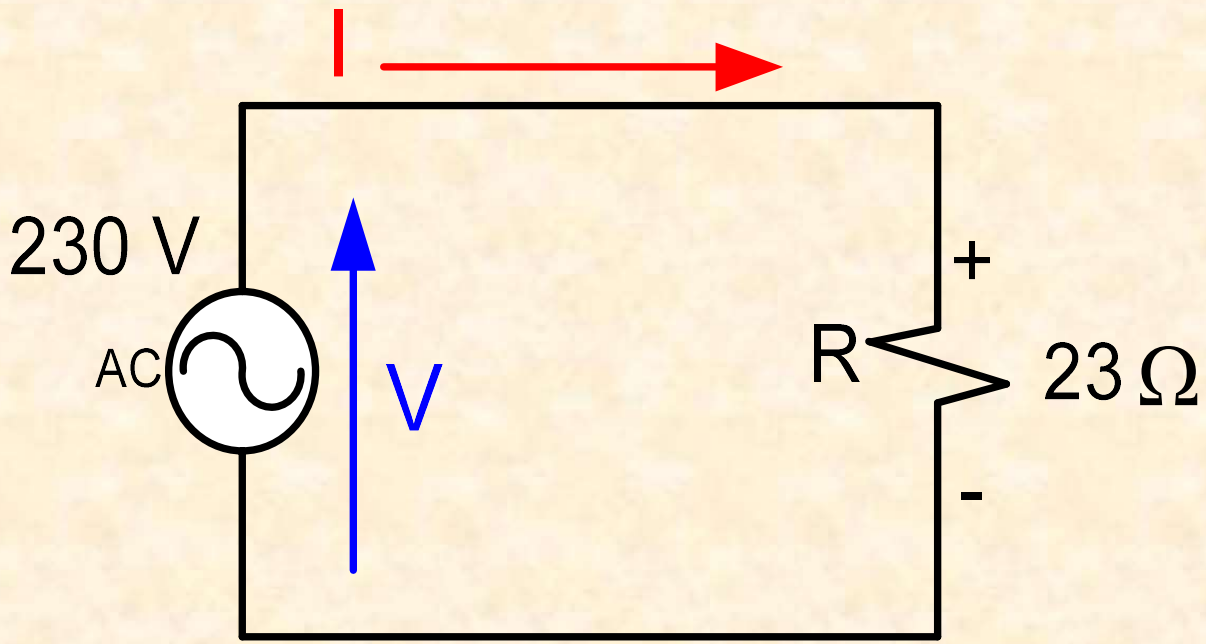
v = 325 Sin (305.85º)

= - 263.5 V

ตัวอย่างที่ 2 ไฟฟ้า AC , 1 ph , 230 V จ่ายไฟให้

Load ที่มี R = 23 Ω

ให้หาค่า I , P



วิธีทำ

$$I = V / Z$$

$$= 230 / 23$$

$$= 10\ A$$

$$P = V I \cos\theta \quad , \quad \cos\theta = 1$$

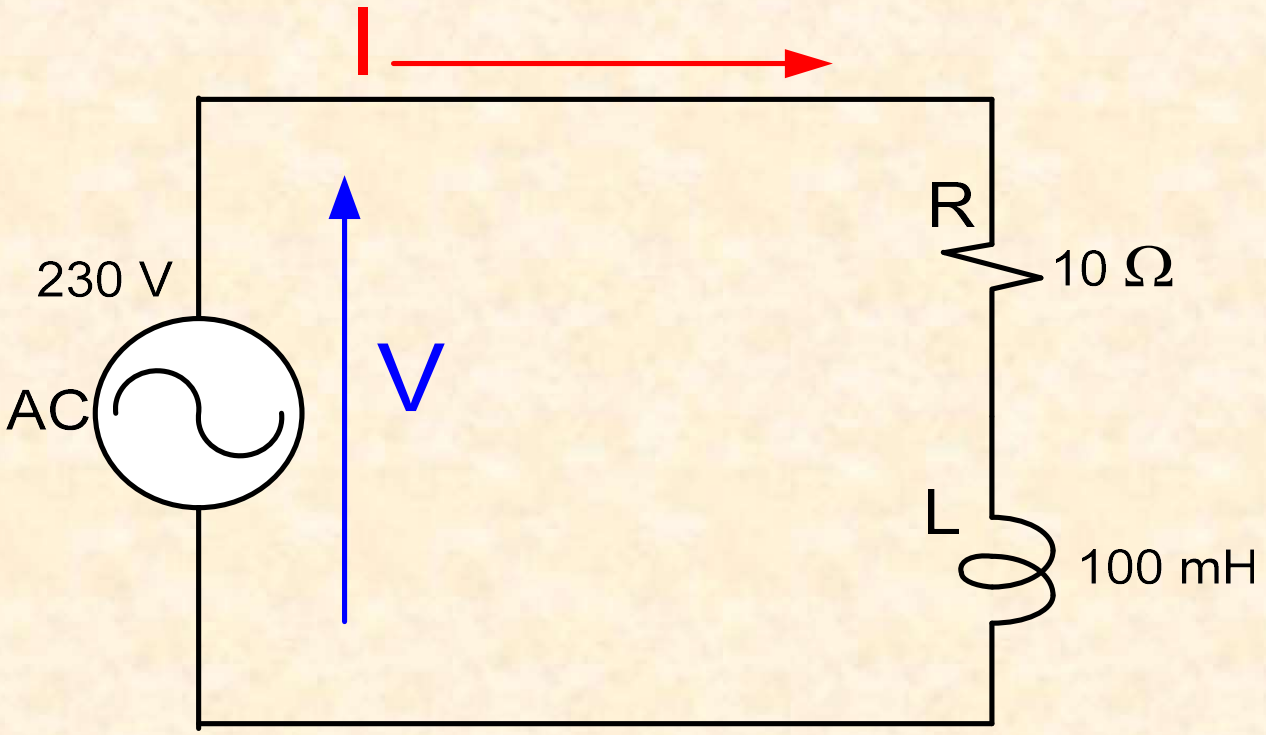
$$= 230 \times 10$$

$$= 2300\ W$$

ตัวอย่างที่ 3 ระบบไฟฟ้า f = 50 Hz มี Load R และ L ต่ออนุกรม

R = 10 Ω , L = 100 mH

ให้หาค่า Z



วิธีทำ

$$X_L = 2\pi f L$$

$$= 2\pi \times 50 \times 100 \times 1\,0^{-3}$$

$$= 31.4\ \Omega$$

$$Z = R + j X_L$$

$$= 10 + j\,31.4$$

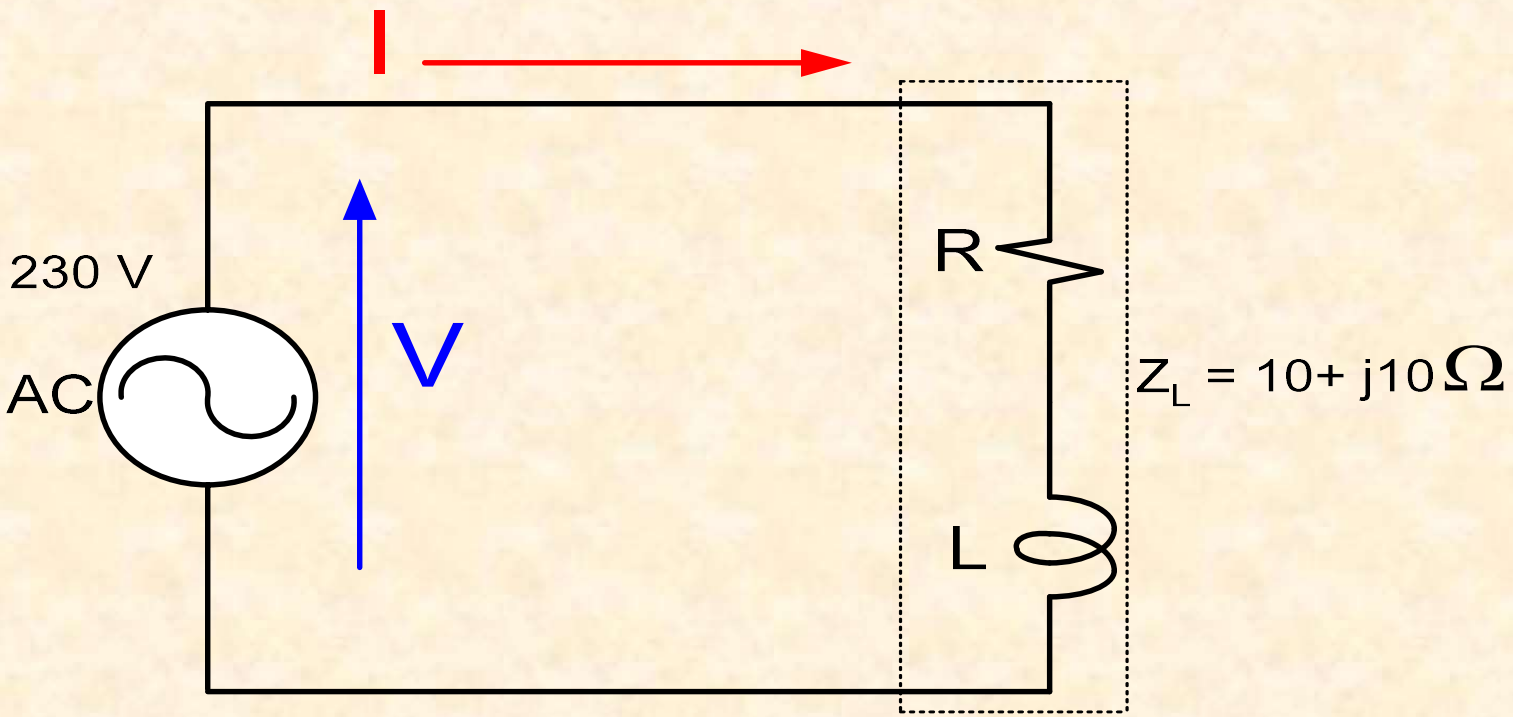
$$|Z| = \sqrt{(10^2 + 31.4^2)}$$

$$= 33\ \Omega$$

ตัวอย่างที่ 4 ระบบไฟฟ้า 1 ph , 230 V, 50 Hz

จ่ายไฟให้ Load $Z_L = 10 + j\,10\ \Omega$

ให้หาค่า I , P, P.F.



วิธีทำ

$$Z_L = 10 + j\,10$$

$$|Z_L| = \sqrt{(10^2 + 10^2)}$$

$$= 14.1\,\Omega$$

$$P.F = \cos\Theta$$

$$= R / Z_L$$

$$= 10 / 14.1$$

$$= 0.71$$

$$I = V / Z = 230 / 14.1$$

$$= 16.3 \text{ A}$$

$$P = V I \cos \theta$$

$$= 230 \times 16.3 \times 0.71$$

$$= 2662 \text{ W}$$

check

$$P = I^2R = 16.3^2 \times 10$$

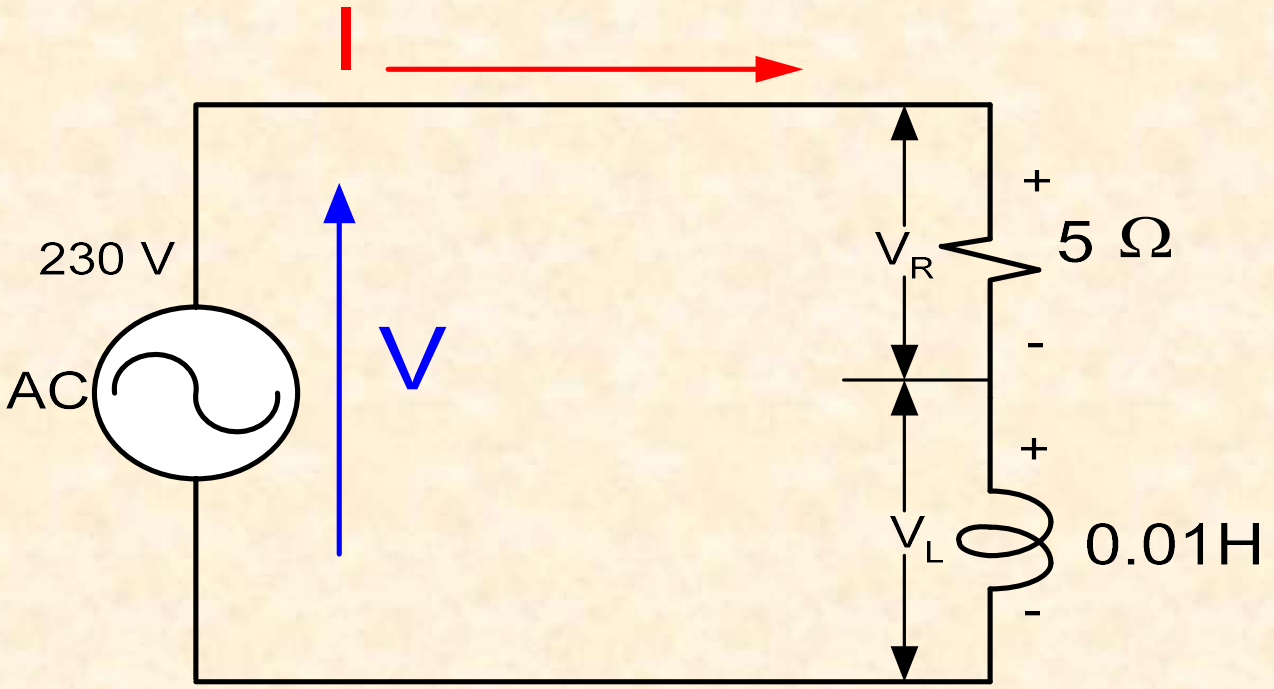
$$= 2657 \text{ W}$$

ตัวอย่างที่ 5 ระบบไฟฟ้า 1 ph , 230 V , 50 Hz

จ่ายไฟให้ Load , R และ L ต่ออนุกรม

R = 5 Ω , L = 0.01 H

ให้หา I , P , แรงดันตกคร่อม R และ L



วิธีทำ

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \times 50 \times 0.01$$

$$= 3.14\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{(R^2 + X_L^2)}$$

$$= \sqrt{(5^2 + 3.14^2)}$$

$$= 5.9\ \Omega$$

$$I = V / Z = 230 / 5.9$$

$$= 39 \text{ A}$$

$$\text{Cos } \Theta = R / Z = 5 / 5.9 = 0.85$$

$$P = V I \text{ Cos } \Theta$$

$$= 230 \times 39 \times 0.85$$

$$= 7625 \text{ W}$$

check

$$P = I^2R = 39^2 \times 5$$

$$= 7605 \text{ W}$$

Voltage Drop

$I R = 39 \times 5 = 195$ V

$I X_L = 39 \times 3.14 = 123$ V

check

$$V = \sqrt{(195^2 + 123^2)}$$

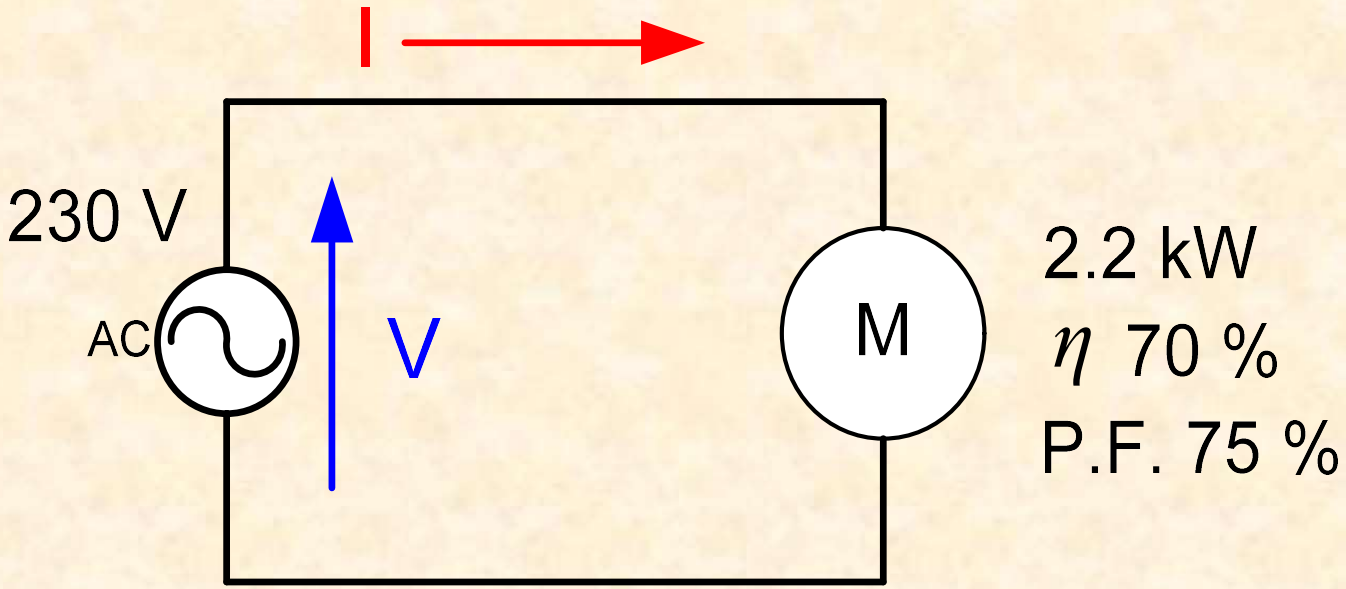
$$= 230.6 \text{ V}$$

ตัวอย่างที่ 6 มอเตอร์ 1 ph , 2.2 kW , 230 V, 50 Hz

เมื่อทำงานเต็มพิกัด (Full Load)

มี η 70 % , P.F. 75 %

ให้หาค่า P (Input) , VA (Input) , I



วิธีทำ

$$P\ (\text{Input}) = \text{Pout} / \eta$$

$$= (2.2 \times 1000) / (0.7)$$

$$= 3146\ \text{W}$$

$$\text{VA (Input)} = P\ (\text{Input}) / \text{P.F.}$$

$$= (3143) / (0.75)$$

$$= 4191\ \text{VA}$$

$$I = \text{VA (Input)} / V$$

$$= (4191) / (230)$$

$$= 18.2\ \text{A}$$

ไฟฟ้ากระแสสลับ

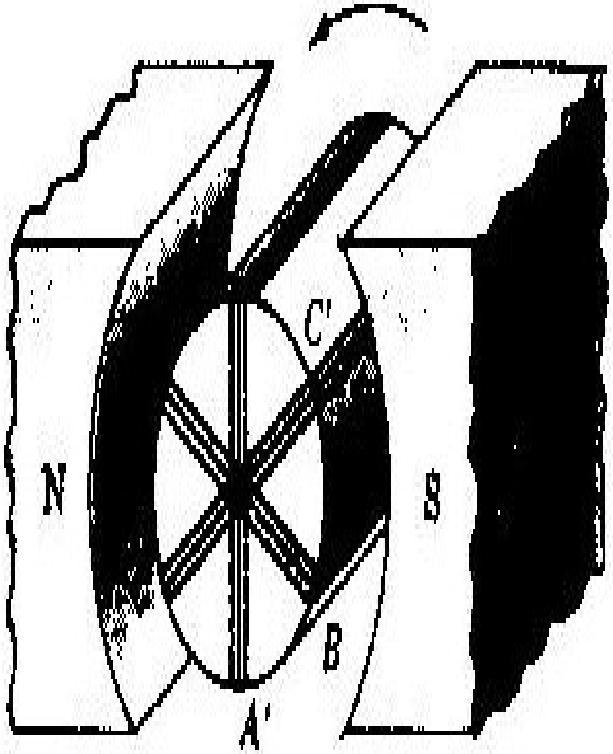
AC 3 Phase

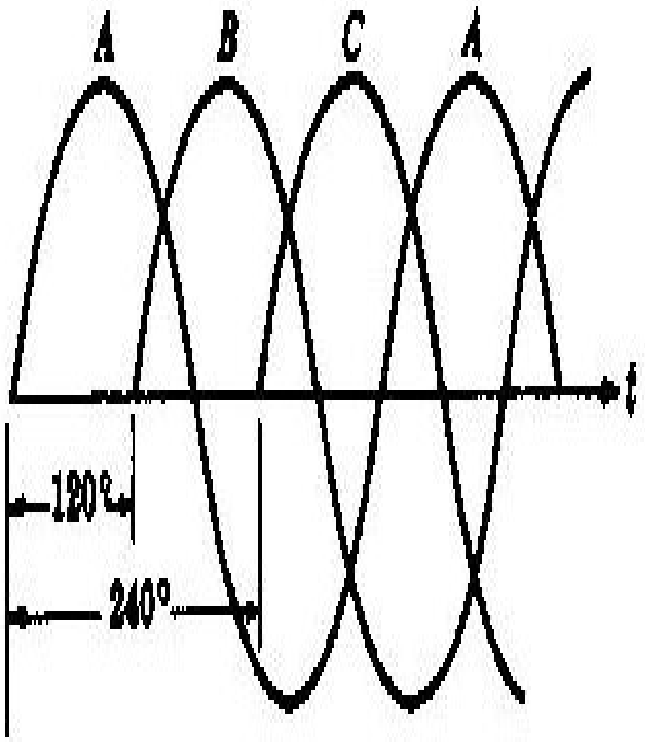
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส

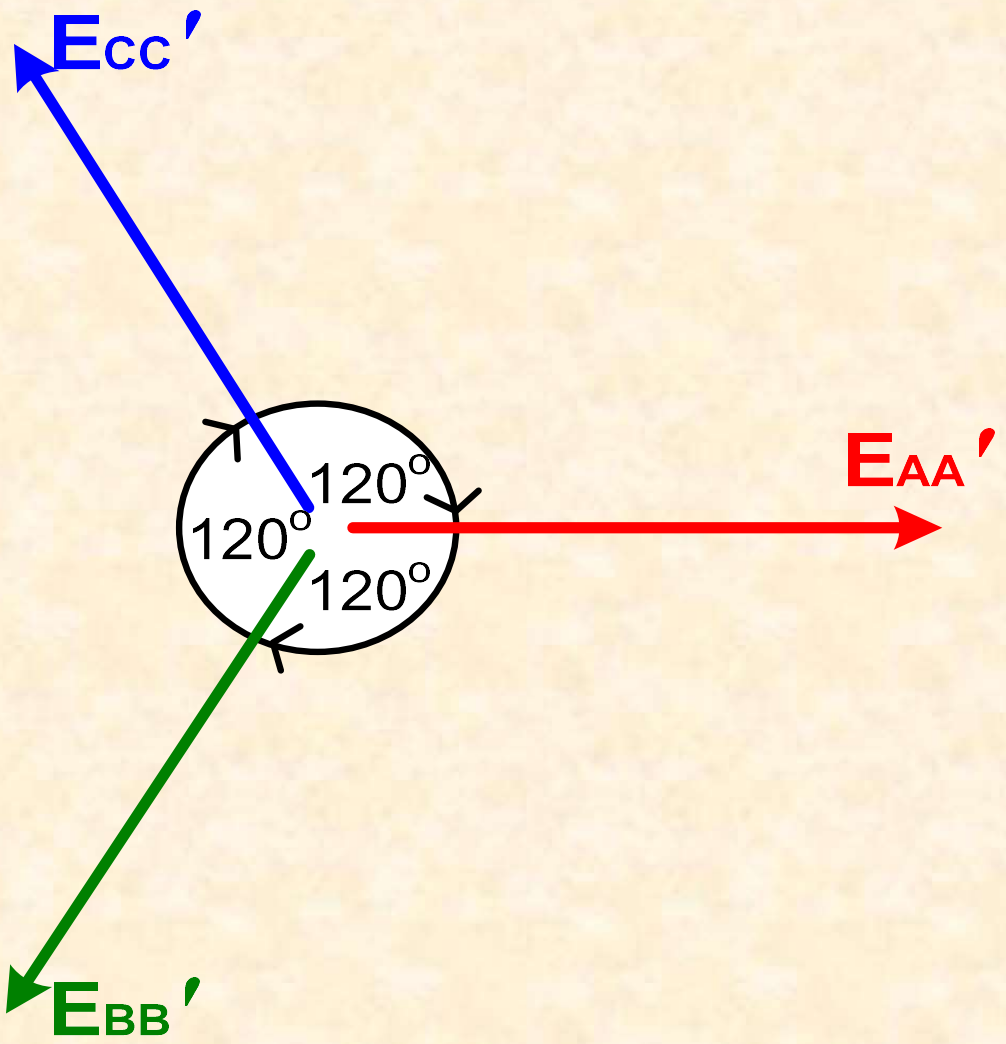
- มีขดลวด 3 ชุด AA′, BB′, CC′
  ติดตั้งใน Slot อยู่ ห่างกัน 120^0 Electrical Degrees

- ดังนั้นเมื่อขดลวดหมุนตัดสนามแม่เหล็กหรือ
  สนามแม่เหล็กหมุนตัดผ่านขดลวด ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า
  ขึ้นมา 3 ชุด คือ E (AA′) , E (BB′) , E (CC′)
  ซึ่งอยู่ห่างกัน 120^0 ดังรูป

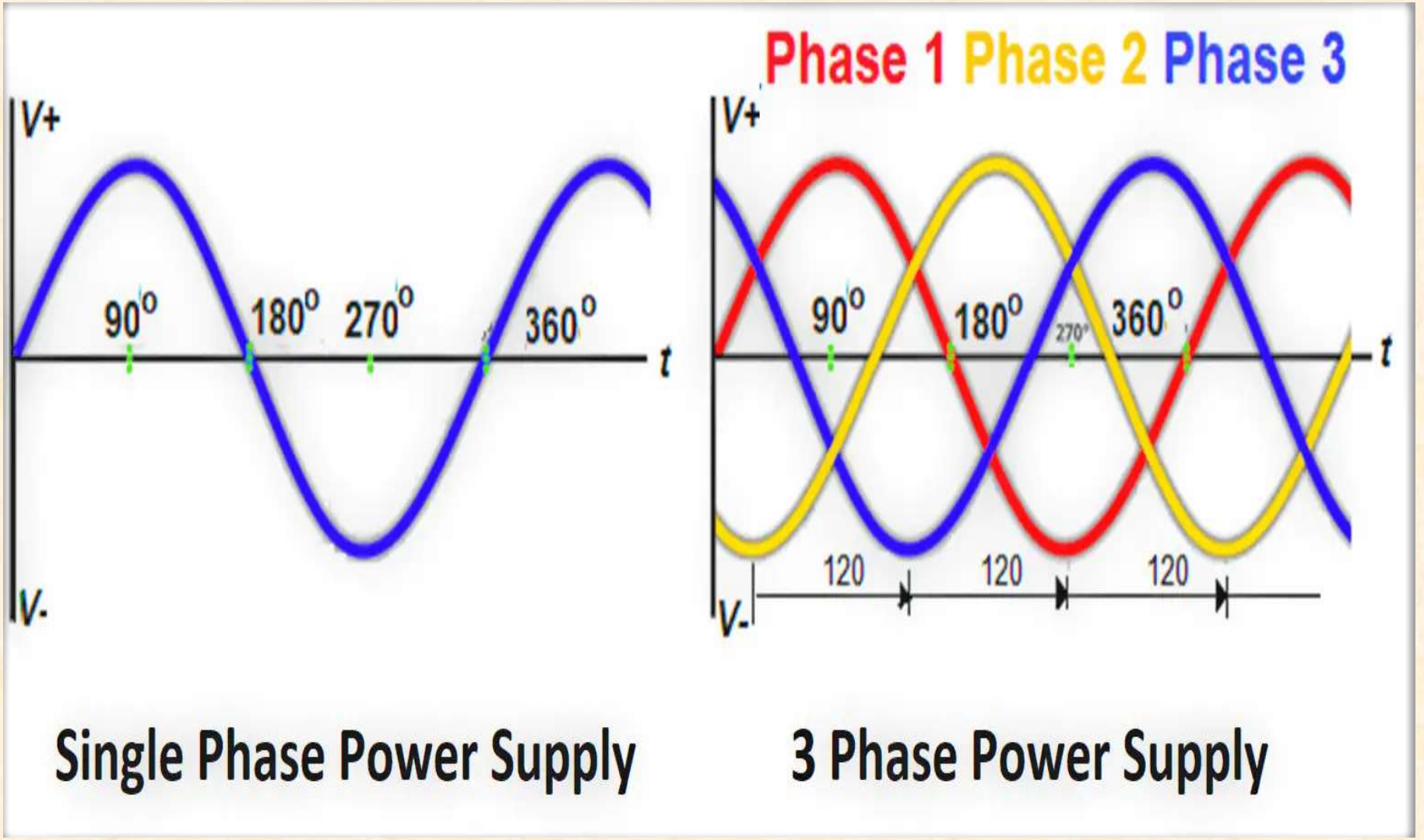
Three Phase System







รูป Phase Diagram


Phase 1 Phase 2 Phase 3
V+
V-
90°
180°
270°
360°
t
120
120
120
Single Phase Power Supply
3 Phase Power Supply

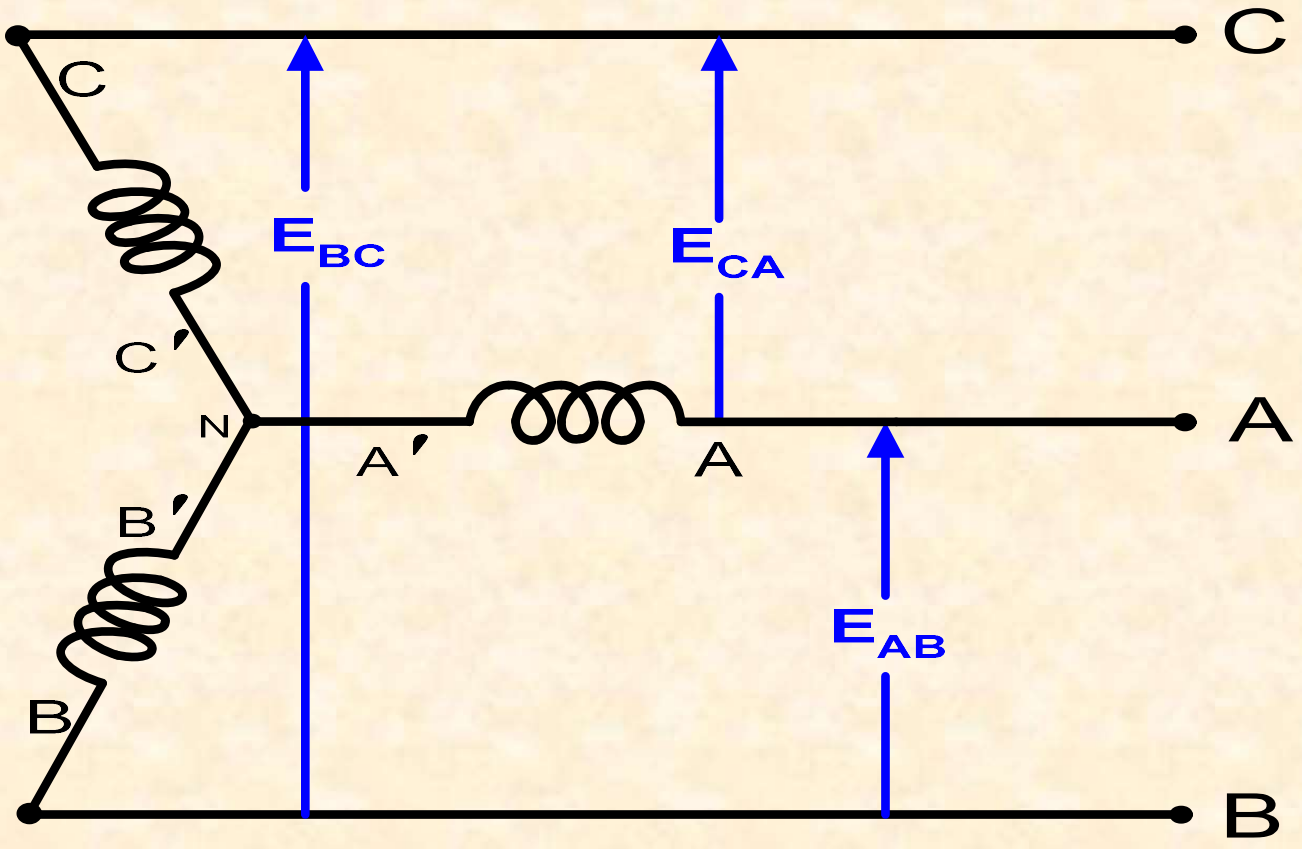
2. การต่อขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- โดยทั่วไป ขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถต่อได้ 2 แบบที่สำคัญ คือ

- การต่อแบบ **Star** หรือ **Wye**

- การต่อแบบ **Delta**

การต่อขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Star หรือ Wye



ขั้ว A′, B′, C′ นำมาต่อด้วยกันเป็นจุดกลาง เรียกว่า Neutral

E_{AB} หาได้ดังรูป

$$E_{AB} = 2\,E_{BN}\,\text{Cos}30^{\circ} = 2 \times (\sqrt{3}/2) \times E_{BN}$$

$$= \sqrt{3}\,E_{AN}$$

$$\text{Line Voltage} = \sqrt{3}\ \text{Phase Voltage}$$

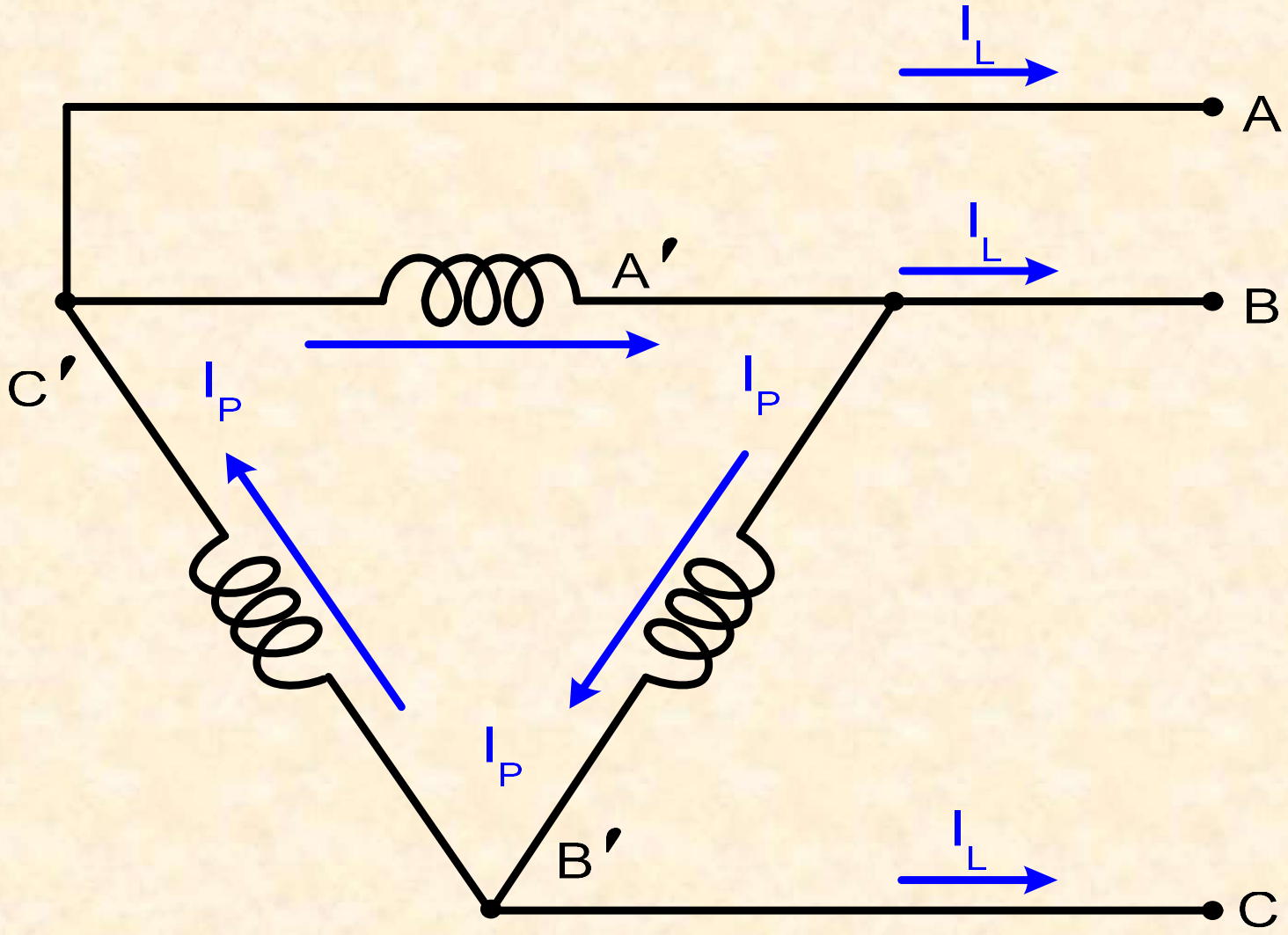
$$E_L = \sqrt{3}\ E_{ph}$$

$\therefore$ การต่อแบบ Star

$$I_L = I_{Ph}$$

$$E_L = \sqrt{3}\ E_{Ph}$$

การต่อขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Delta



เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลดไปที่ จุด A

$$I_A = I_{CA} - I_{AB}$$

$$I_{AB} = V_{AB} / Z_{AB} = I_{ph} \angle 0^\circ$$

$$I_{CA} = I_{CA} / Z_{CA} = I_{ph} \angle -240^\circ$$

$$I_A = I_{ph} \angle +120^\circ - I \angle 0^\circ$$

$$= (0.5 + j\sqrt{3} / 2)$$

$$= \sqrt{3}\ I_{BB}$$

การต่อแบบ Delta

$$I_L = \sqrt{3}\ I_{ph}$$

$$E_L = E_{Ph}$$

3. โหลดไฟฟ้า 3 Phase

โหลดไฟฟ้า 3 เฟส จะมี 3 ส่วนหรือ 3 ชุด
สามารถต่อกันเป็นแบบ

- Star หรือ Wye

- Delta

การต่อโหลด Star หรือ Wye

- ส่วนมากเป็น โหลด 1 เฟส 3 ชุด

  มาต่อเข้ากับ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

- อาจเป็นแบบ Balanced Load หรือ Unbalanced Load ก็ได้

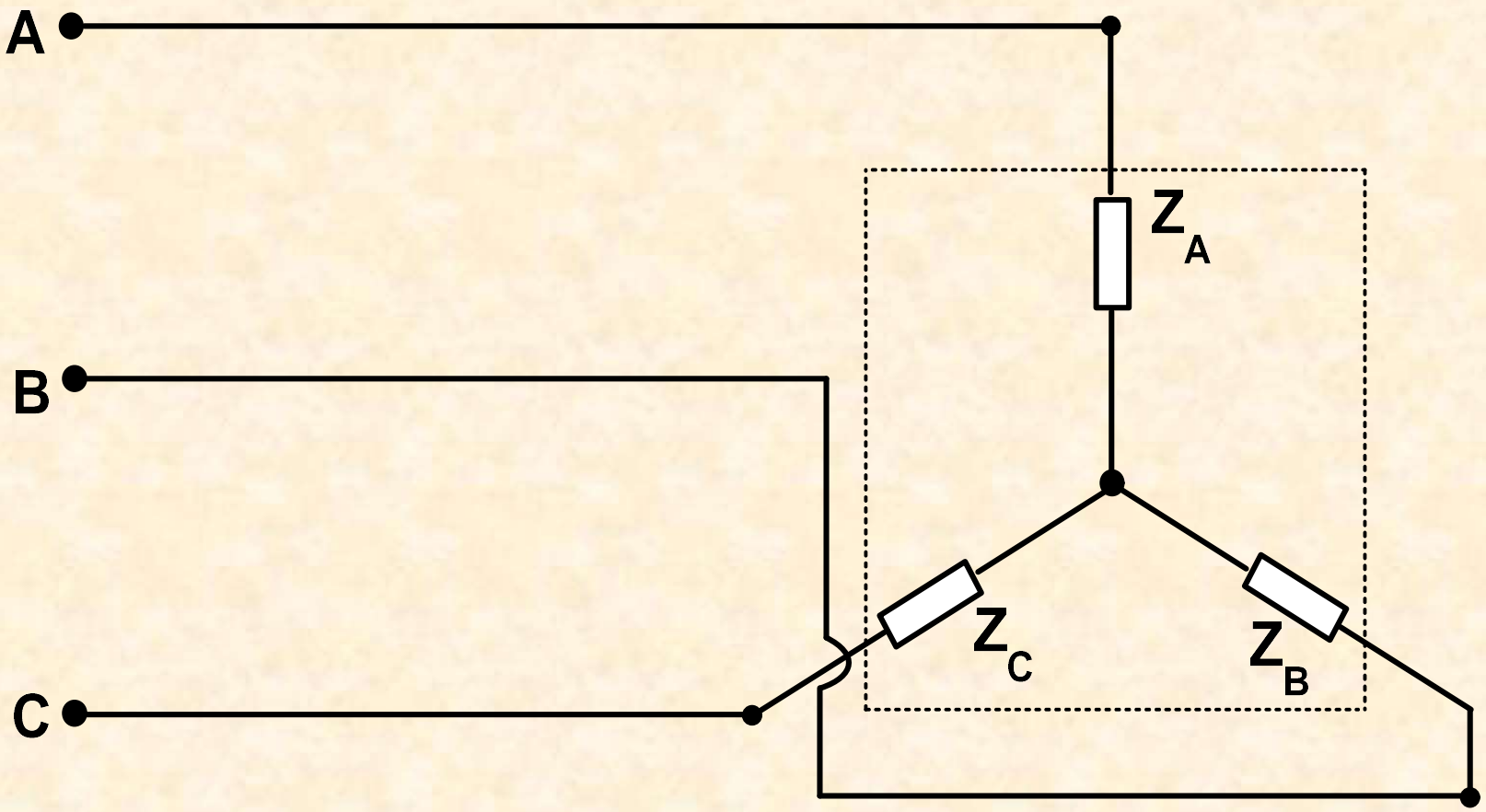
- ถ้าเป็นโหลด Balanced จะได้กระแส

$$I_A = I_B = I_C \text{ และห่างกัน } 120^0$$

$$\therefore \quad I_n = I_A + I_B + I_C \quad \text{Phasor sum}$$

จะได้ $= 0$

- ถ้าเป็นโหลด Unbalanced จะมีกระแสไหลในสาย Neutral



รูป วงจรการต่อโหลด **Star หรือ Wye**

การต่อโหลด Delta

ส่วนมากจะเป็น โหลด แบบ Balance

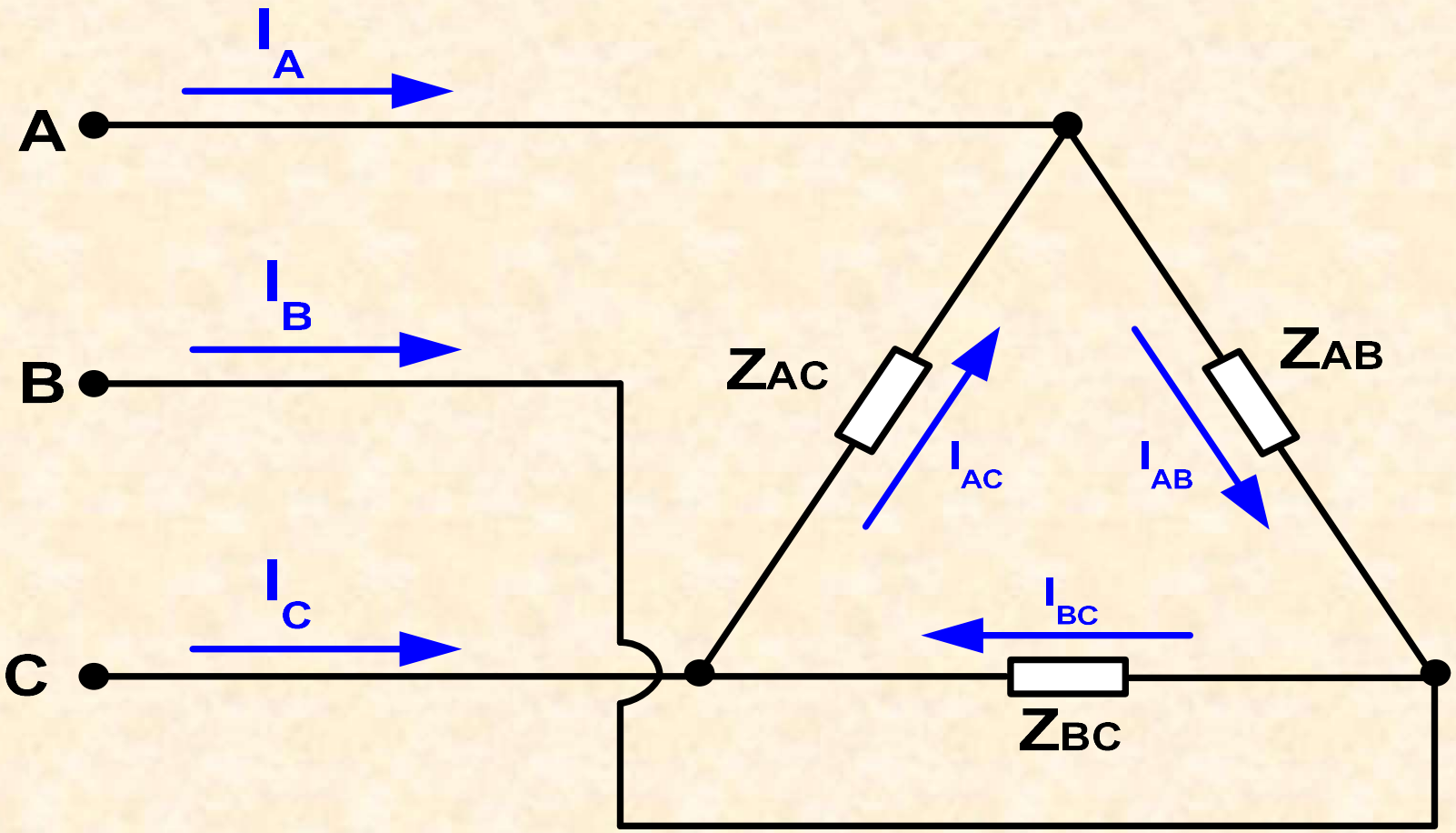
$\therefore \quad I_A = I_B = I_C$ ห่างกัน 120^0

และ $I_L = \sqrt{3}\, I_{ph}$

โหลดต่อแบบ Delta ส่วนมากจะเป็นโหลด Motor

ซึ่งขดลวดต่อเป็น Delta ขณะใช้งานปกติ

กระแสในขดสวด $I_{ph} = I_L / \sqrt{3}$



รูป วงจรการต่อโหลด **Delta**

โหลดไฟฟ้า 3 เฟส สามารถแบ่งเป็นแบบ

- โหลด **Balanced**

- โหลด **Unbalanced**

โหลด Balanced

โดยทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วน Phase A , B , C จะเหมือนกัน

$$Z_A = Z_B = Z_C = Z\angle\theta^0$$

เมื่อเอาโหลดนี้ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส แล้ว

จะได้กระแสเท่ากัน และห่างกัน 120^0

$$I_A = I_B = I_C$$ จะห่างกัน 120^0

การคำนวณกระแสของโหลด Balanced นี้ อาจคำนวณครั้งเดียวเหมือนไฟ 1 เฟสได้

โหลด Unbalanced

โหลดทั้ง 3 ส่วน Phase A , B , C ไม่เท่ากัน

ทำให้กระแสในแต่ละส่วนไม่เท่ากัน

โหลด Unbalanced นี้ส่วนมากจะเป็น โหลด 1 เฟส

มาต่อใช้กับ ระบบไฟ 3 เฟส 4 สาย

ทำให้กระแสในแต่ละส่วนไม่เท่ากัน

สาย Neutral (N) จะมีกระแสไหล

4. กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

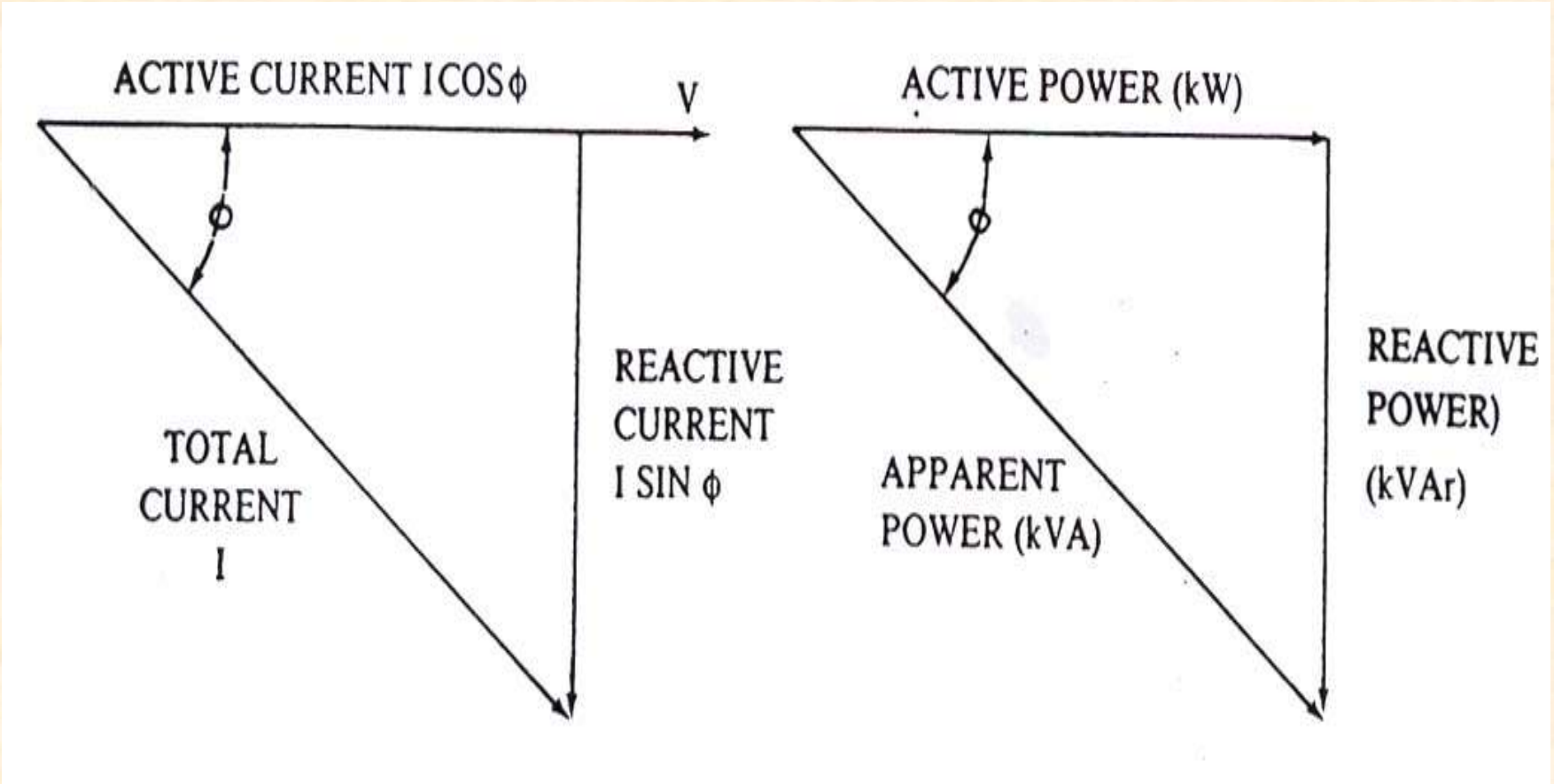
1) REAL POWER (kW)

2) REACTIVE POWER (kVAR)

3) APPARENT POWER (kVA)

กำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ส่วน

รวมกันทาง PHASOR ได้ดังนี้



จากรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก
สามารถ คำนวณได้ดังนี้

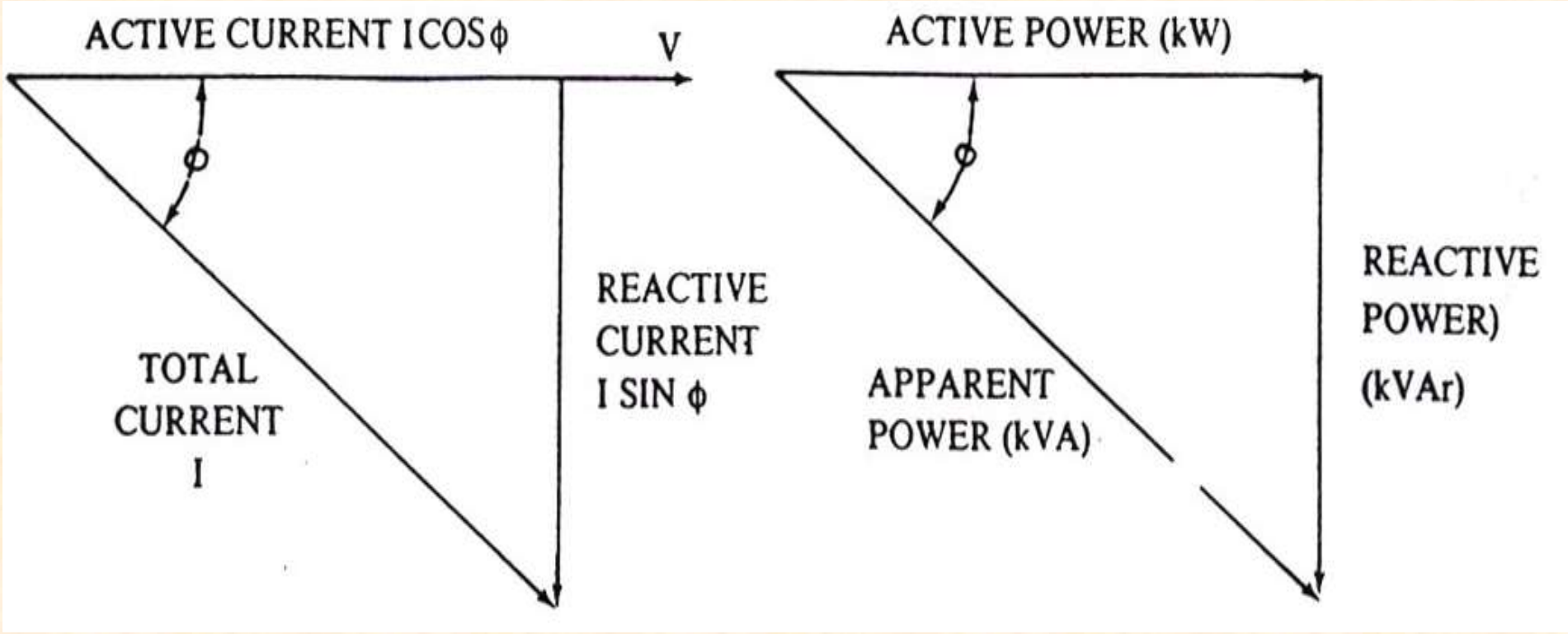
$$S = P + JQ$$

$$(kVA)^2 = (kW)^2 + (kVAr)^2$$

ตัวประกอบกำลัง (POWER FACTOR , P.F.)

$$P.F. = kW / kVA$$

$$= \cos \phi$$



จากรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก สามารถหากำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ได้ดังนี้

- $\sin \phi = kVAR / kVA$

$kVAR = kVA \times \sin \phi$

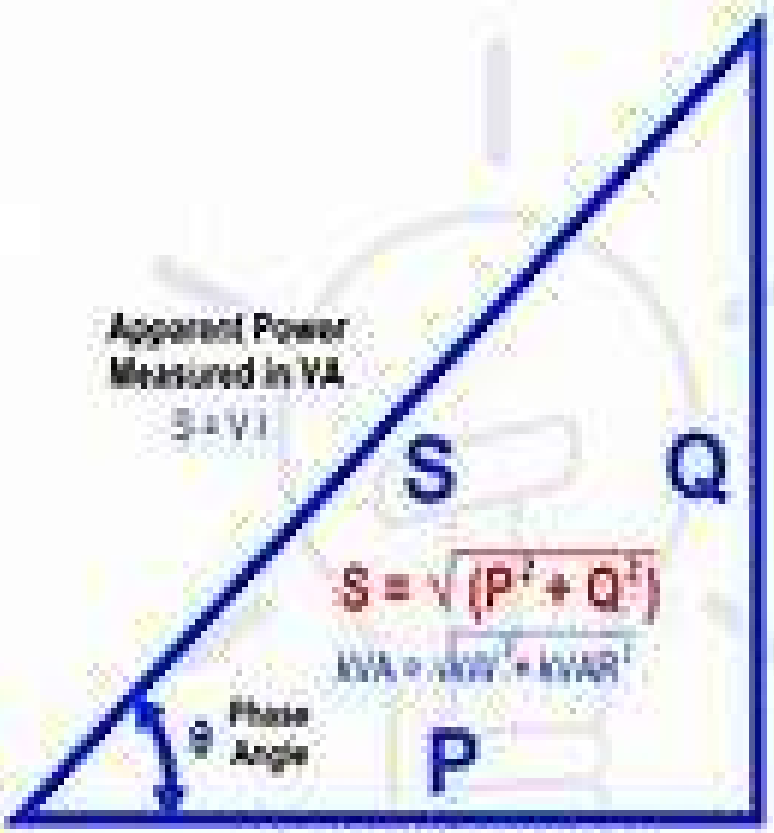
- $\cos \phi = kW / kVA$

$kW = kVA \times \cos \phi$

- $\tan \phi = kVAR / kW$

$kVAR = kW \times \tan \phi$

Power Triangle & Power Factor



Reactive Power
Measured in VAR
Q = V I Sinθ

$$P = VI\cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{P}{VI}$$

$$\cos\theta = \frac{kW}{kVA}$$

$$\cos\theta = \frac{\text{True Power}}{\text{Apparent Power}}$$

$$\cos\theta = \frac{R}{Z}$$

$$\cos\theta = \frac{kW}{kVA} = \text{Power Factor}$$

$$\text{Power Factor} = \frac{\text{Active Power}}{\text{Reactive Power}}$$

www.electricaltechnology.org

ตัวอย่าง ระบบไฟฟ้ามี 500 kW P.F. 0.60 Lagging

ต้องการปรับปรุงให้ P.F. 0.90 Lagging

ต้องใช้ Capacitor ขนาดเท่าใด

ก่อน ปรับปรุง

P.F. = Cos ϕ_1 = 0.60 ϕ_1 = 53.13^0

S_1 = P / P.F. = 500 / 0.60 = 833.33 kVA

Q_1 = P tan 53.13^0 = 666.67 kVAR

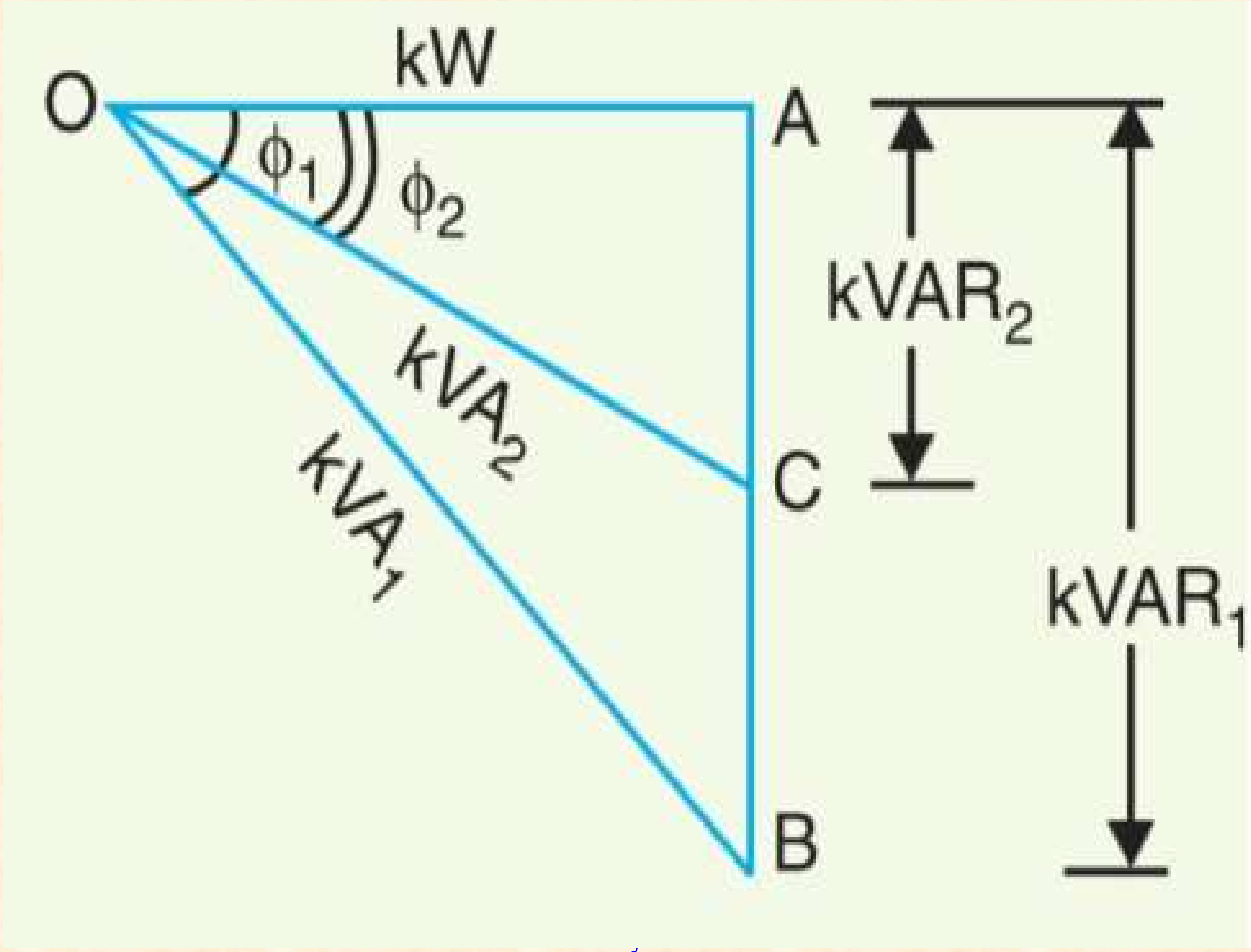
หลัง ปรับปรุง

P.F. = Cos ϕ_2 = 0.90 ϕ_2 = 25.84^0

S_2 = P / P.F. = 500 / 0.90 = 555.56 kVA

Q_2 = P tan 25.84^0 = 242.16 kVAR

$Q_c = Q_1 - Q_2 = 424.51$ kVAR


kW
O
A
ϕ_1
ϕ_2
kVA_2
kVA_1
C
B
$kVAR_2$
$kVAR_1$

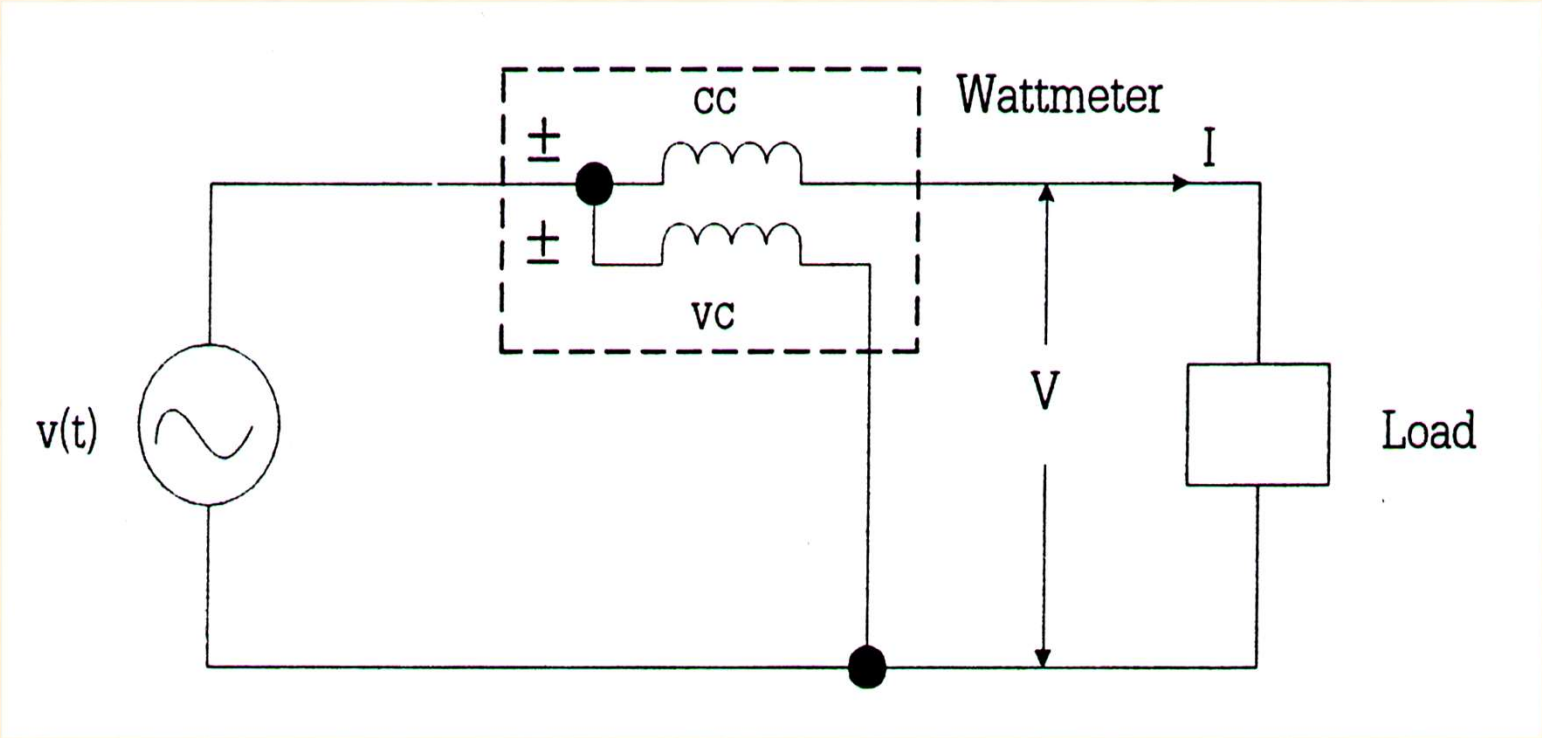
5. การวัดกำลังไฟฟ้า

การวัดกำลังไฟฟ้าใช้ Wattmeter

Wattmeter ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ

- Current Coil

- Voltage (Potential) Coil



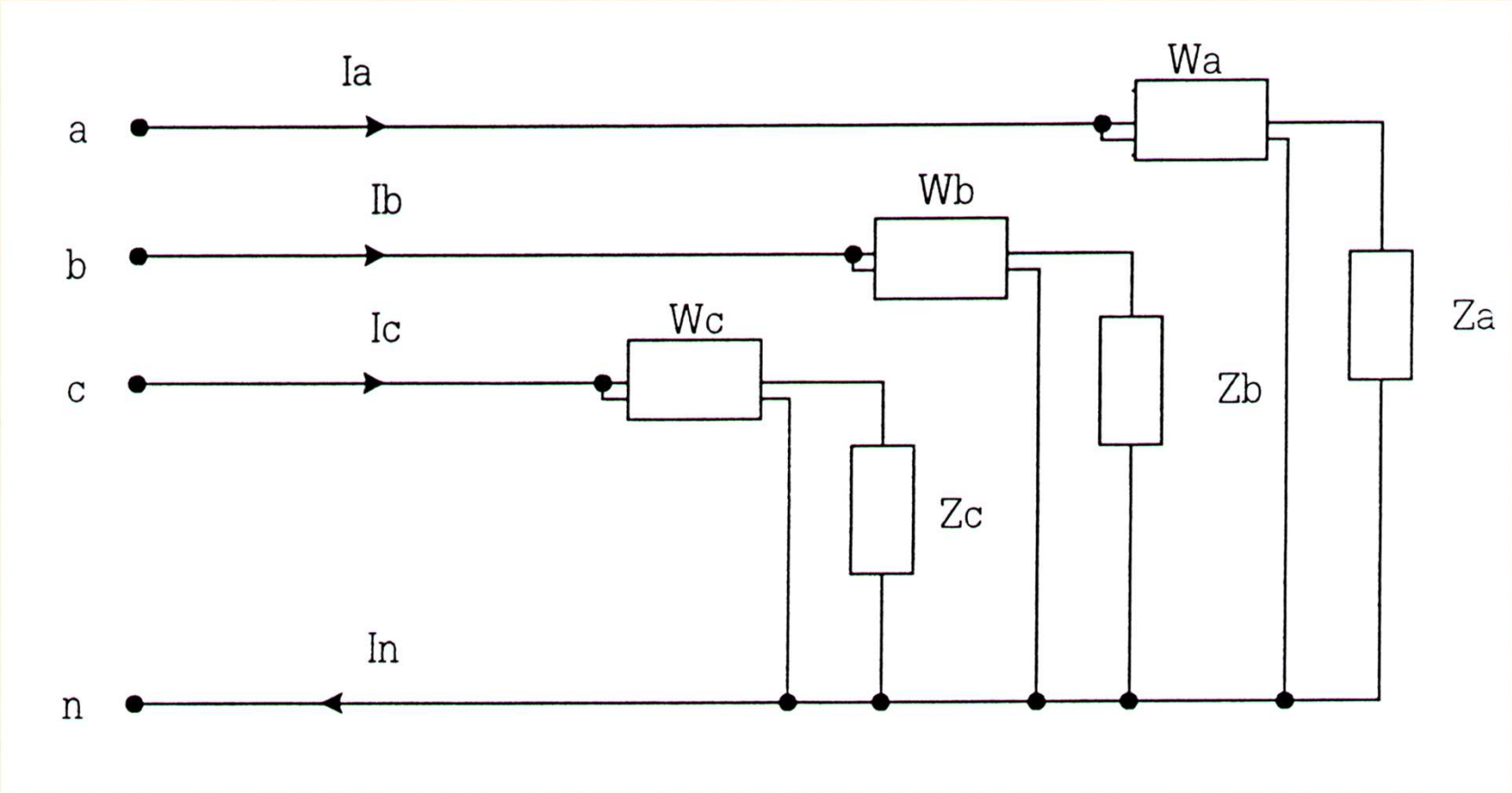
$$P = VI \cos \phi$$

5.1 การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟ 3 เฟส

- แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส 4 สาย

- แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส 3 สาย

- แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส 4 สาย
  - โหลดเป็นแบบ 1 เฟส



ใช้ Wattmeter 3 ตัว (3 Wattmeter Method)

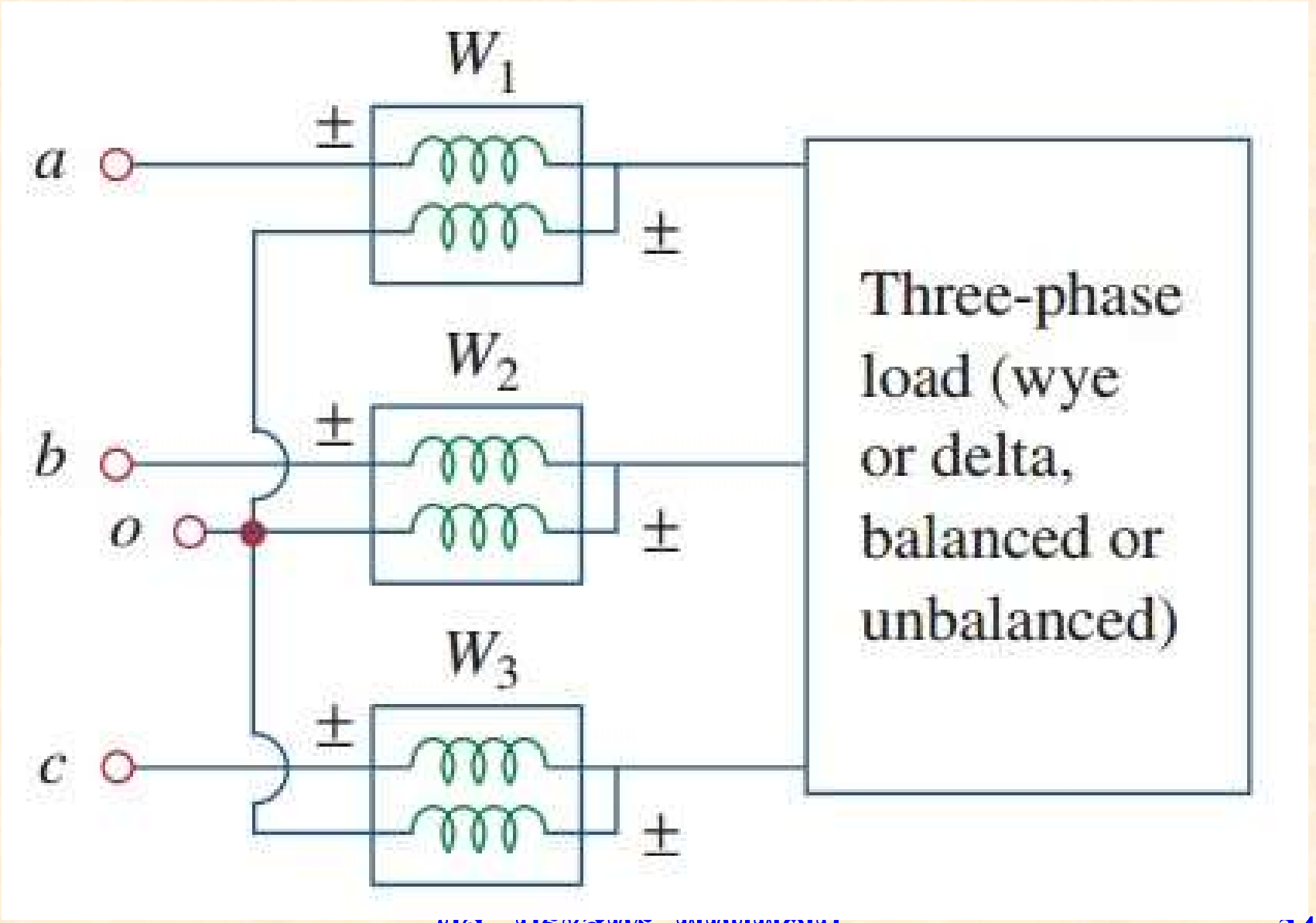
เฟส a $W_a = V_{an} I_a \cos \phi_a$

เฟส b $W_b = V_{bn} I_b \cos \phi_b$

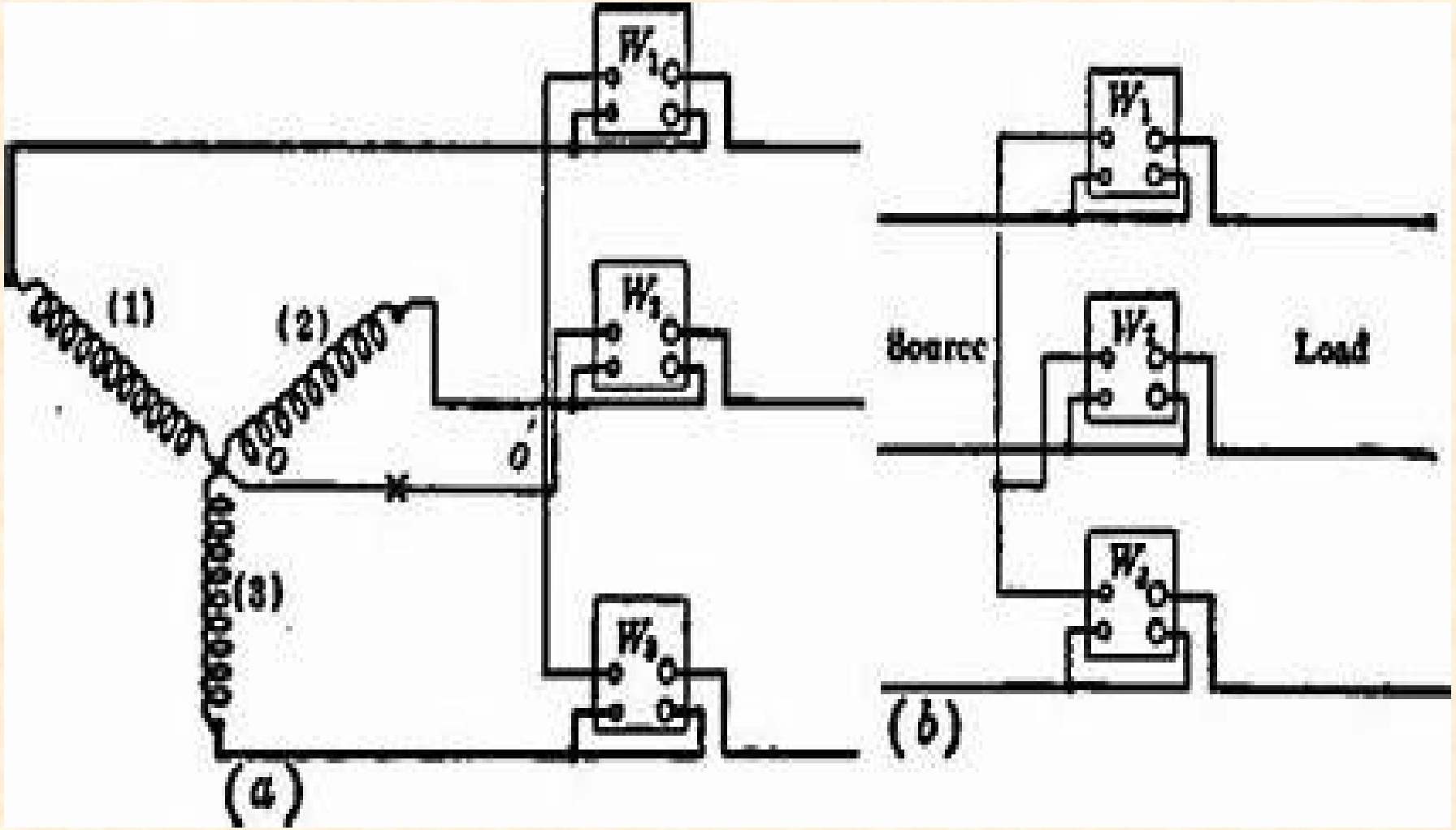
เฟส c $W_c = V_{cn} I_c \cos \phi_c$

$$P_{Total} = W_a + W_b + W_c$$

ใช้ Wattmeter 3 ตัว (3 Wattmeter Method)



ใช้ Wattmeter 3 ตัว (3 Wattmeter Method)



ตัวอย่างการคำนวณ

วงจรไฟฟ้า 3 Phase

ตัวอย่างที่ 1 ระบบไฟฟ้า 3 ph , 400 V

จ่ายไฟให้ Balanced Load ต่อแบบ Star

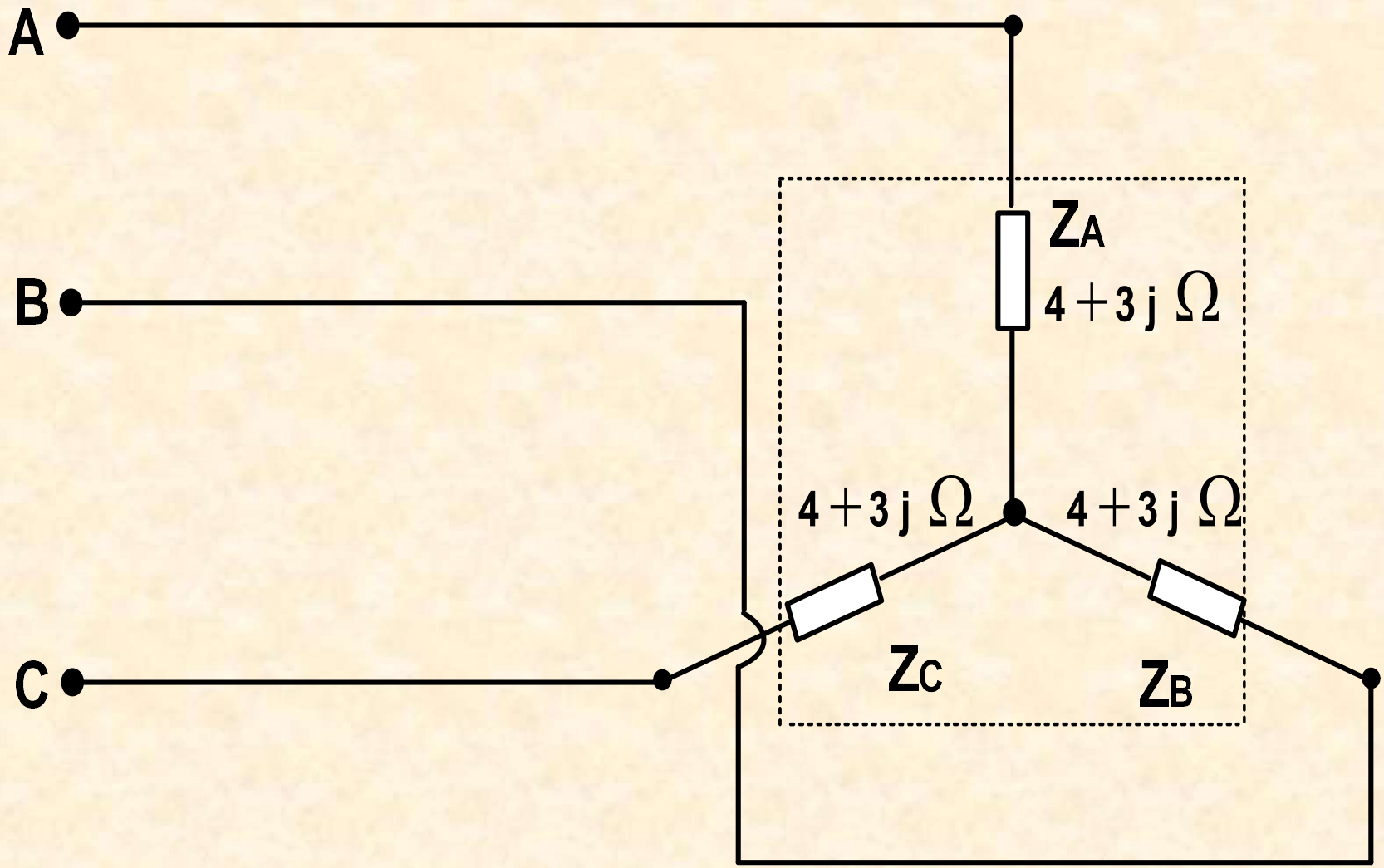
แต่ละ Phase ประกอบด้วย $R = 4\ \Omega$, $X_L = 3\ \Omega$

ให้คำนวณหา

a) Line Current

b) Total Power

รูปวงจร



a) $R = 4\ \Omega$, $X_L = 3\ \Omega$

$Z = \sqrt{(4^2 + 3^2)} = 5\ \Omega$

P. F. = $\cos\phi$ = R / Z = 4 / 5 = 0.8

$V_{ph} = 400 / \sqrt{3} = 230\ V$

$I_{ph} = V_{ph} / Z$

$= 230 / 5 = 46\ A$

$= I_L$

b) $P = \sqrt{3}\ V_L\ I_L\ \text{Cos}\ \phi$

$= \sqrt{3} \times 400 \times 46 \times 0.8)$

$= 25496\ W$

ตัวอย่างที่ 2 ระบบไฟฟ้า 3 ph , 400 V

จ่ายไฟให้ ความต้านทาน 3 ชุด

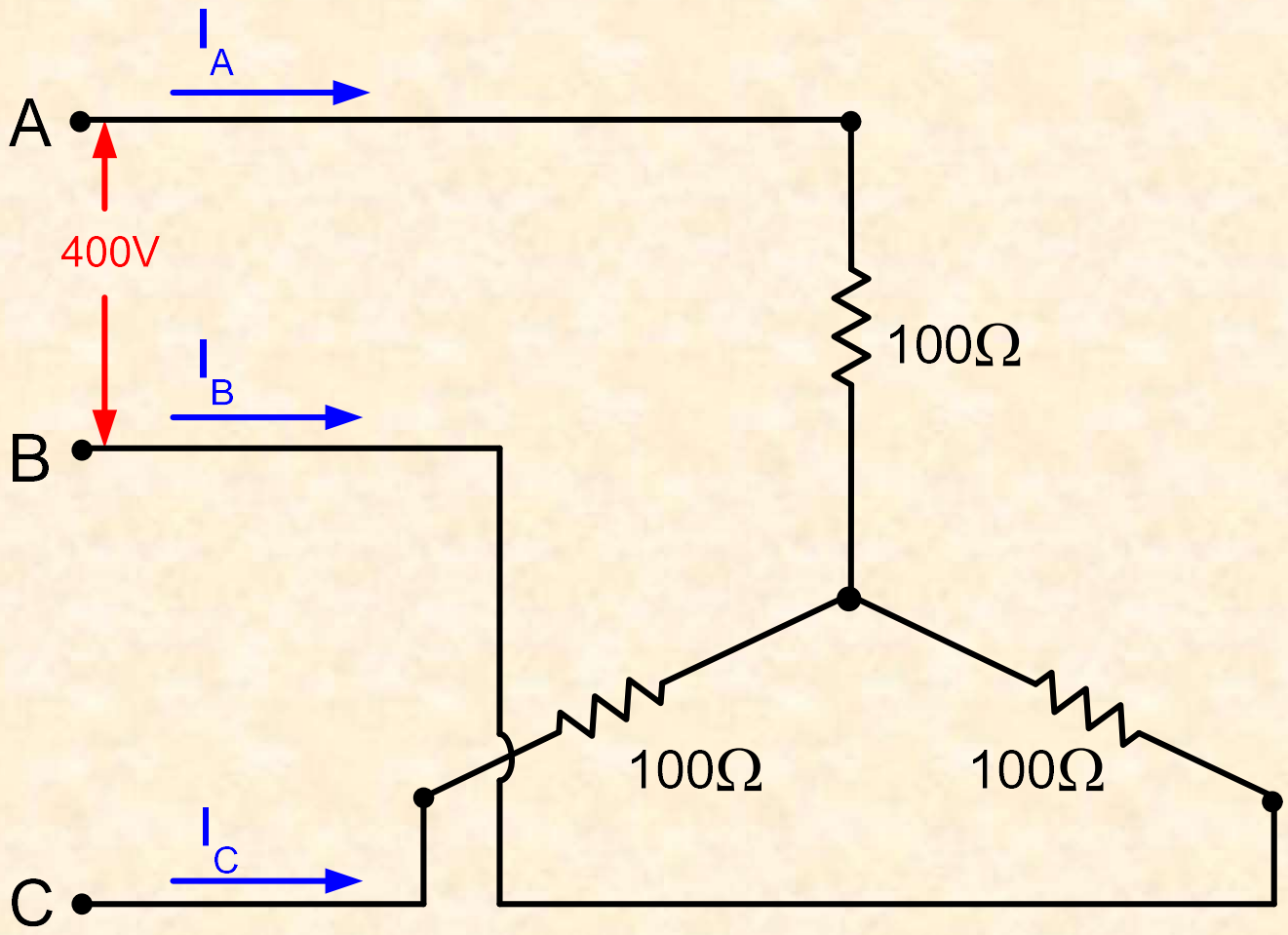
แต่ละชุดมี ความต้านทาน 100 Ω

ให้คำนวณ I และ P เมื่อต่อแบบ

a) Star

b) Delta

a) Star



วิธีทำแบบ Star

$V_{ph} = 400 / \sqrt{3}$

$= 230 \ V$

$I_{ph} = I_L$

$= 230 / 100$

$= 2.30 \ A$

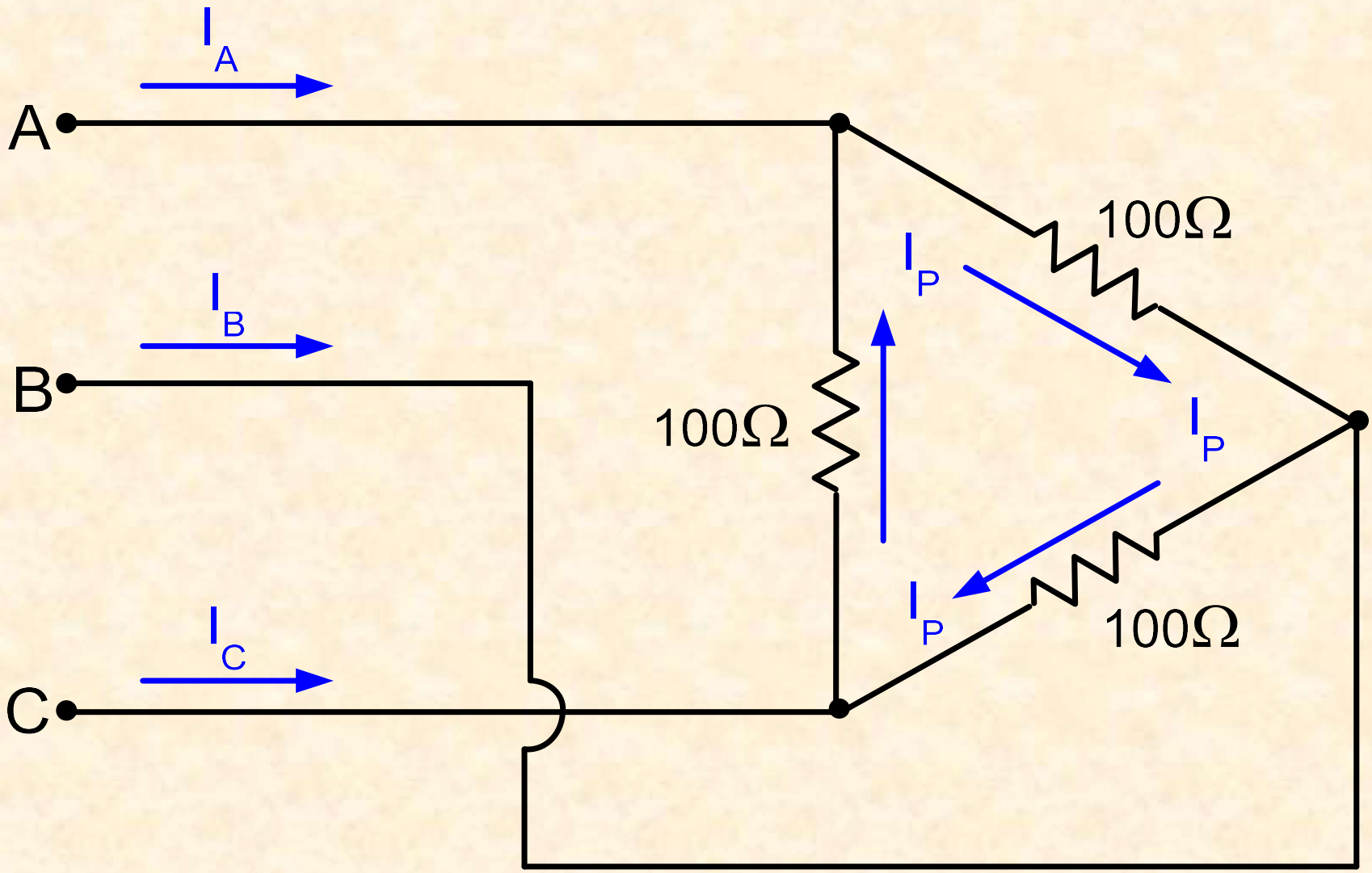
$P = 3 \times I^2 \times R = 3 \times 2.30^2 \times 100$

$= 1587 \ W$

$P = \sqrt{3} \ V_L \ I_L \ \text{Cos} \ \phi = \sqrt{3} \times 400 \times 2.3 \times 1$

$= 1593 \ W$

b) Delta



วิธีทำแบบ Delta

$V_C = V_{ph} = 400\ V$

$I_{ph} = 400 / 100$

$= 4.00\ A$

$I_L = \sqrt{3}\ I_{ph} = 4.0 \times \sqrt{3} = 6.9\ A$

$P = 3 \times I^2 \times R = 3 \times 4^2 \times 100$

$= 4800\ W$

$P = \sqrt{3}\ V_L\ I_L \cos\phi = \sqrt{3} \times 400 \times 4.0 \times 1$)

$= 4800\ W$

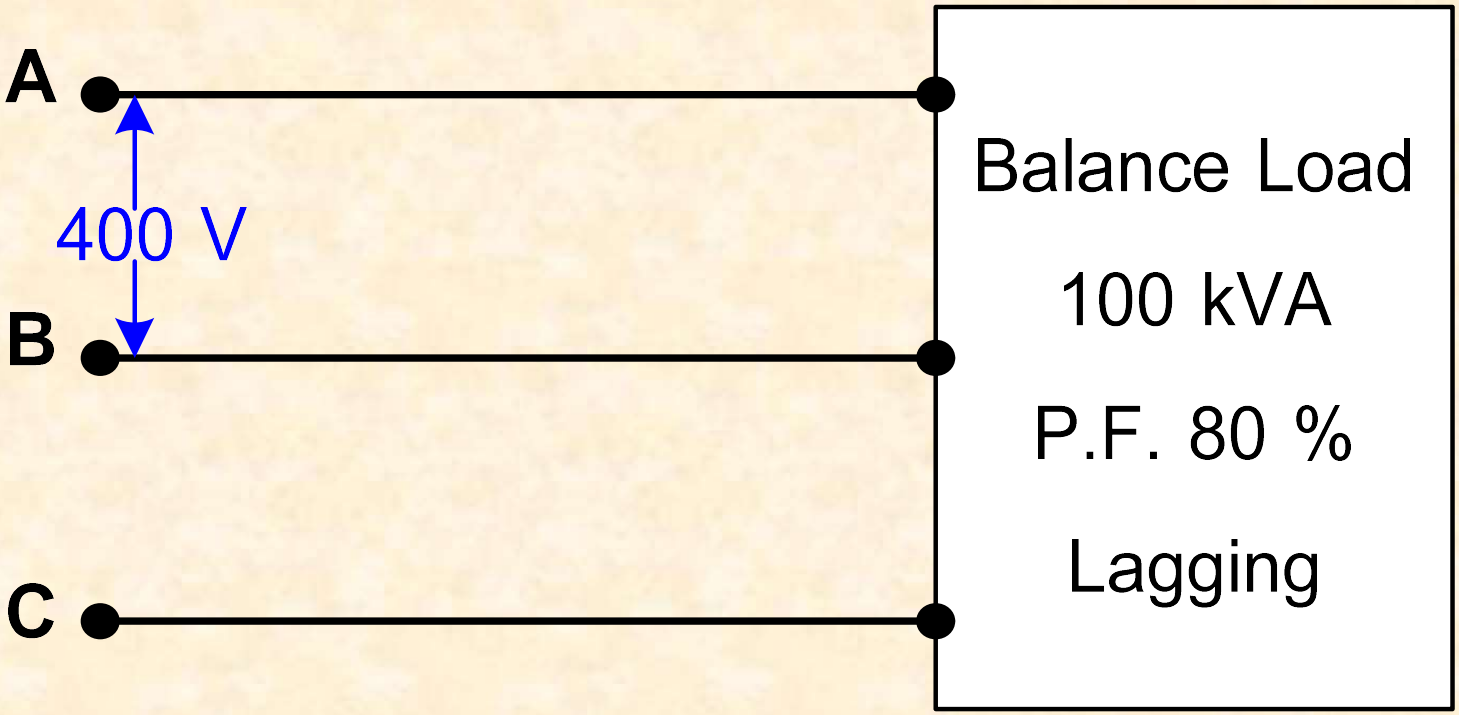
ตัวอย่างที่ 3 ระบบไฟฟ้า 3 ph , 400 V

จ่ายไฟให้ Balanced Load 100 kVA

P.F. 80 % Lagging

ให้คำนวณหา I , P, kVAR

รูปวงจร



$$kVA\ (\text{รวม}) = \sqrt{3}\ V_L\ I_L$$

$$I = 100\ (kVA)\ /\ (\sqrt{3}\ V_L)$$

$$= 100 \times 1000\ /\ (\sqrt{3} \times 400)$$

$$= 144.3\ A$$

$$P = \sqrt{3}\ V_L\ I_L\ \text{Cos}\ \Theta$$

$$= \sqrt{3} \times 400 \times 144.3 \times 0.8)$$

$$= 80\ kW$$

or $P = kVA \times P.F. = 100 \times 0.80 = 80\ kW$

P.F. = 0.80 Lagging = Cos ϕ

ϕ = 36.9^0

sin ϕ = 0.60

kVAR = kVA x sin ϕ

= 100 x 0.6

= 60 kVAR

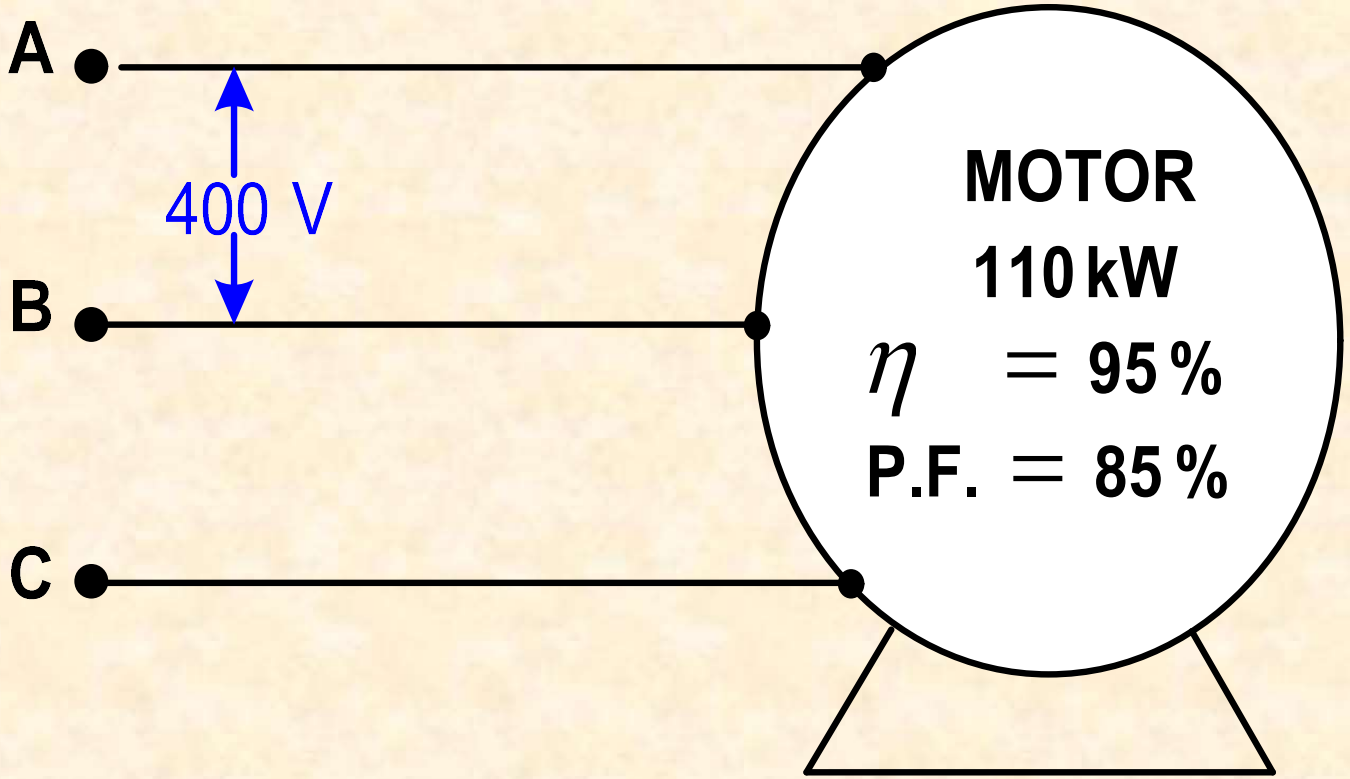
ตัวอย่างที่ 4 ระบบไฟฟ้า 3 ph , 400 V

จ่ายไฟให้ Motor 110 kW , η = 95 % P.F = 85 %

ให้คำนวณหา kW input , kVA input , kVAR input

I_L

รูปวงจร



kW input = kW / η

= 110 / 0.95

= 115.8 kW

kVA input = kW / (η x P. F.)

= 110 / (0.95 x 0.85)

= 136.2 kVA

$$\text{P. F.} = \cos\phi = 0.85 \;,\; \phi = 31.8^0$$

$$\sin 31.8^0 = 0.53$$

$$\text{kVAR input} = \text{kVA input} \times \sin\phi$$

$$= 136.2 \times 0.53$$

$$= 72.2 \text{ kVAR}$$

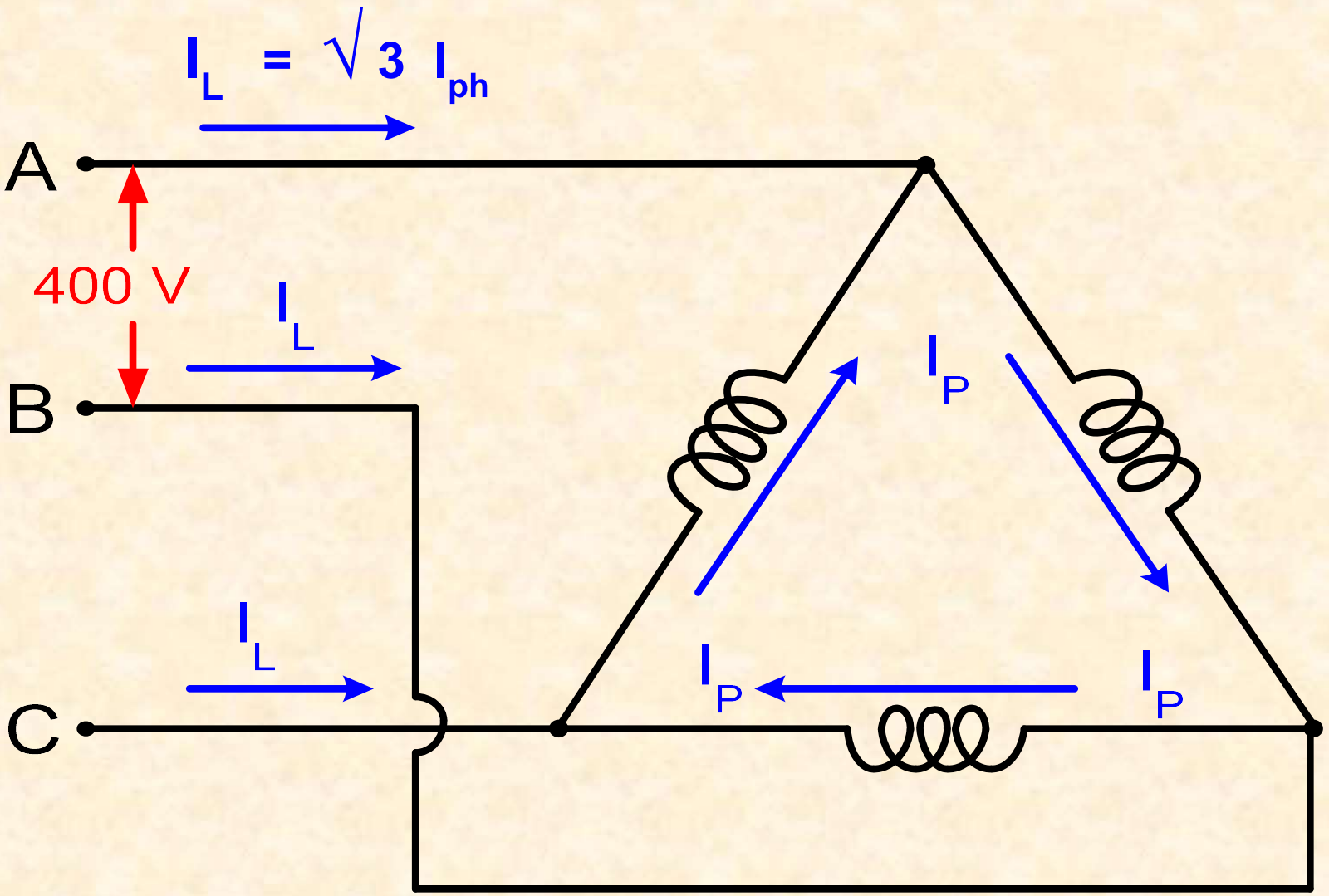
$$I_L = \text{kVA input} \;/\; (\sqrt{3} \times V_L)$$

$$= 136.2 \times 1000 \;/\; (\sqrt{3} \times 400)$$

$$= 196.6 \text{ A}$$

ถ้า Motor ตัวนี้ต่อแบบ Delta

กระแสในขดลวด แต่ละ phase เป็นเท่าใด



$$I_L = \sqrt{3}\, I_{ph}$$

$$I_{ph} = I_L / \sqrt{3}$$

$$= 196 / \sqrt{3}$$

$$= 113 \text{ A}$$

ตัวอย่างที่ 5 ความต้านทาน 3 ชุด

แต่ละชุดมีความต้านทาน 100 Ω

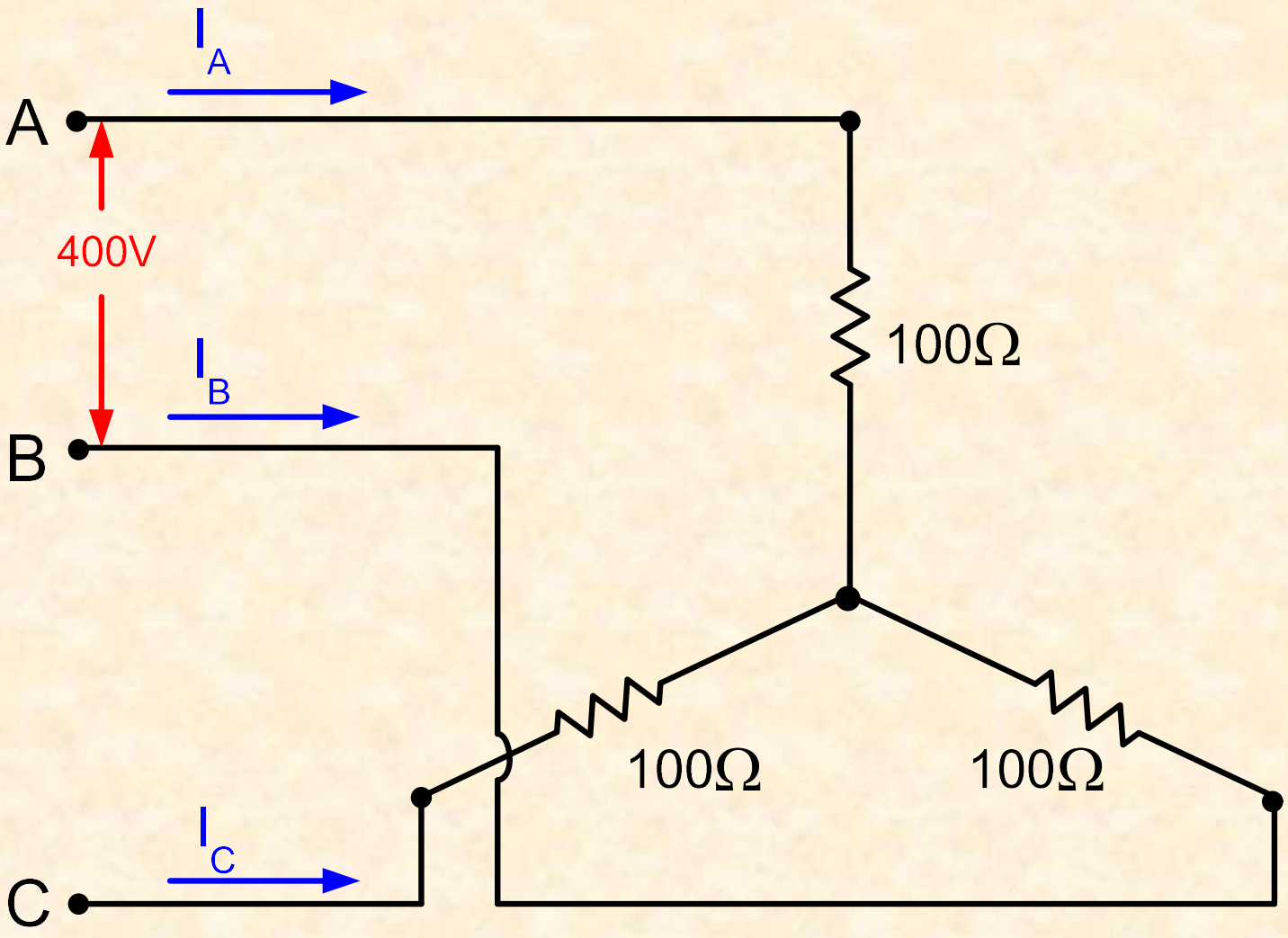
ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า 3 ph 400 V แบบ

Star และDelta ให้คำนวณ P , I ของแต่ละกรณี

เมื่อชุด ความต้านทาน 1 ชุด ออก

ต่อแบบ Star

ค.ต.ท ครบ 3 ชุด



วิธีทำ

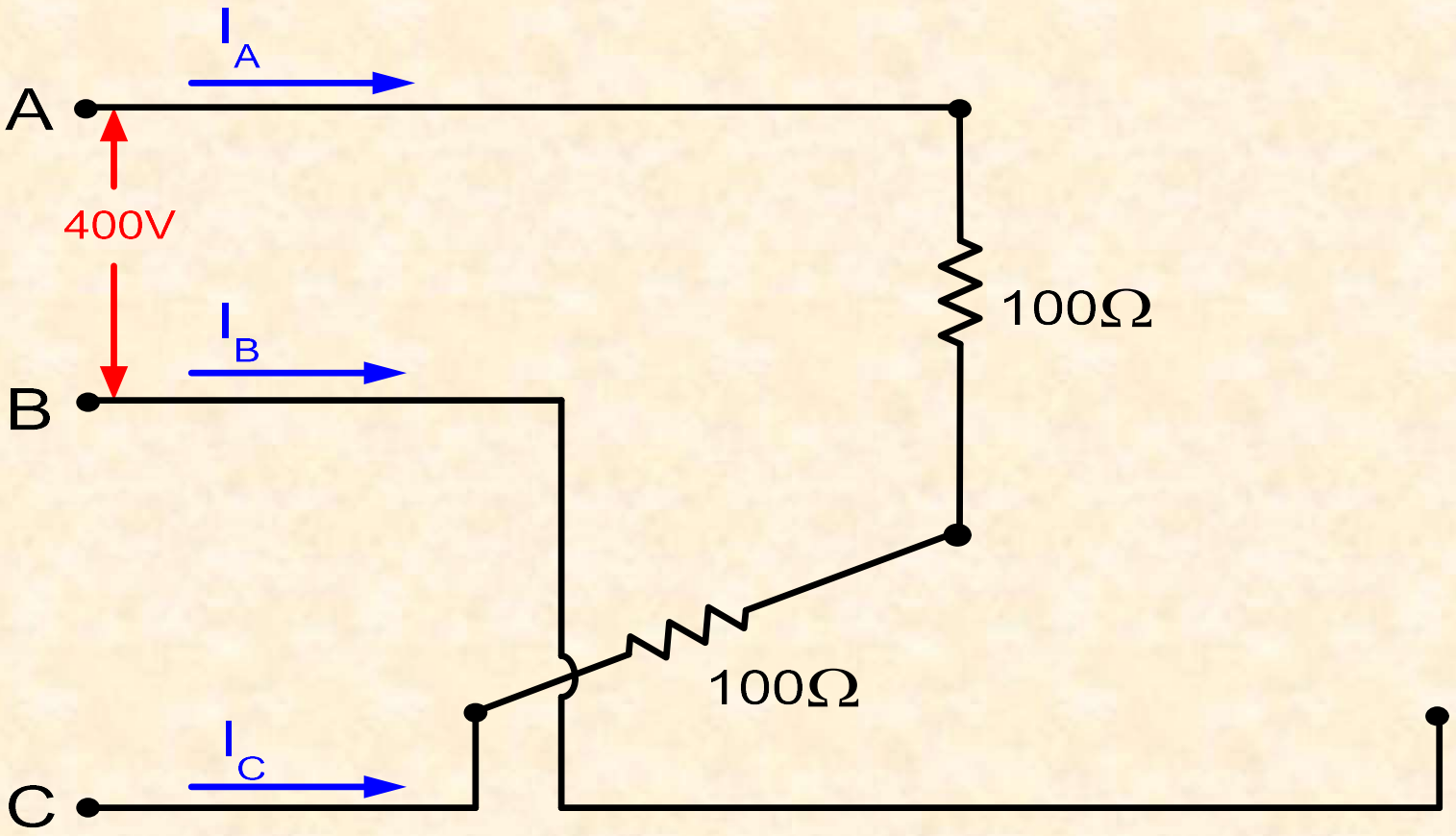
$$V_{ph} = 400 / \sqrt{3}$$

$$I_{ph} = (400 / \sqrt{3}) / 100) = 4 / \sqrt{3}$$

$$P = 3 \times I^2_{ph} \times R = 3 \times (4 \sqrt{3})^2 \times 100$$

$$= 1600 \ W$$

เอา ค.ต.ท ออก 1 ชุด



วิธีทำ

ระบบไฟฟ้าไม่ใช้ 3 ph

แต่มี ค.ต.ท 2 ชุดต่ออนุกรม เข้ากับไฟ 400 V

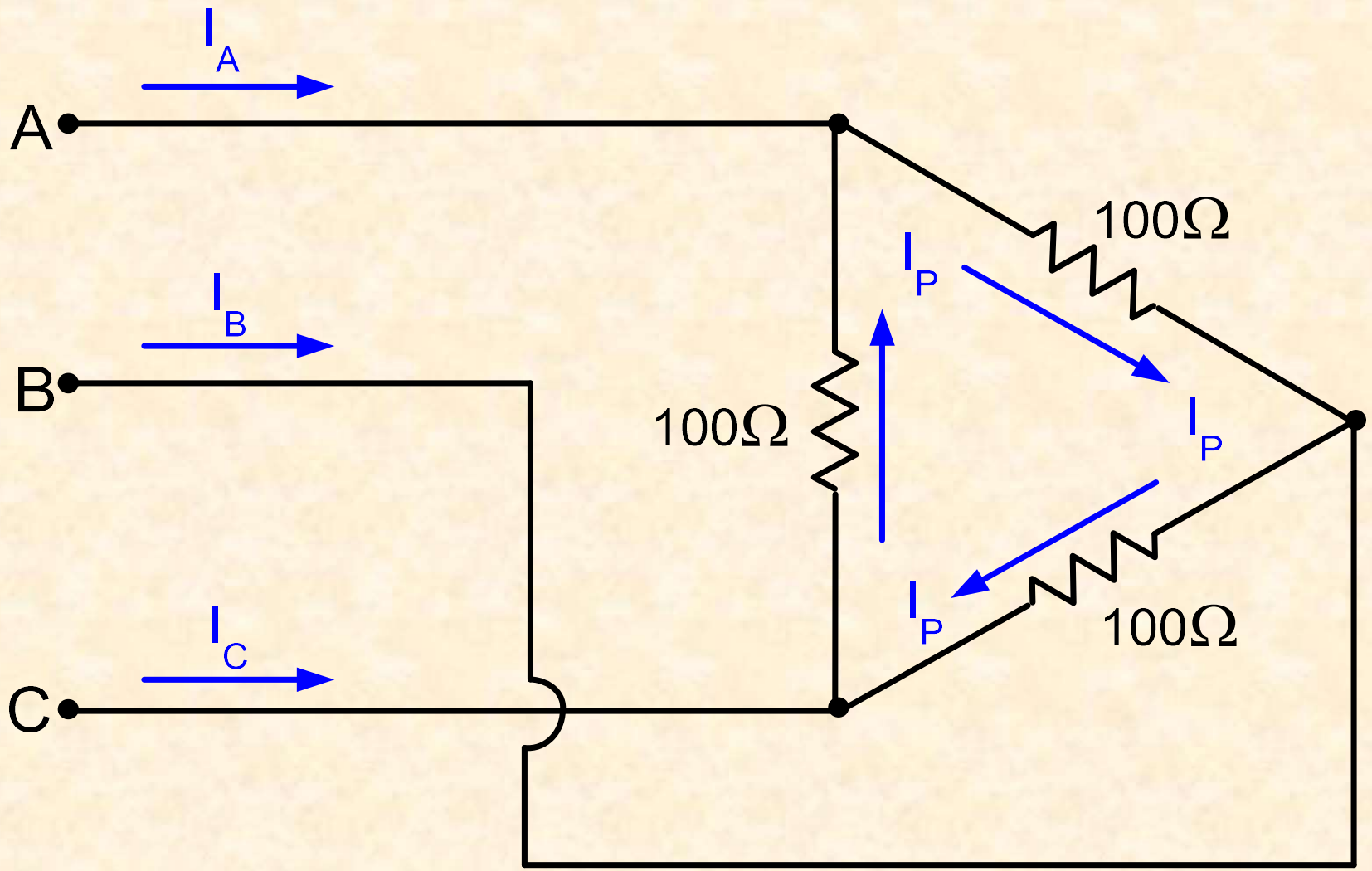
$$I = 400 / 200 = 2\ A$$

$$P = 2 \times I^2 \times R$$

$$= 2 \times 2^2 \times 100$$

$$= 800\ W$$

ต่อแบบ Delta ค.ต.ท 3 ชุดครบ



วิธีทำ

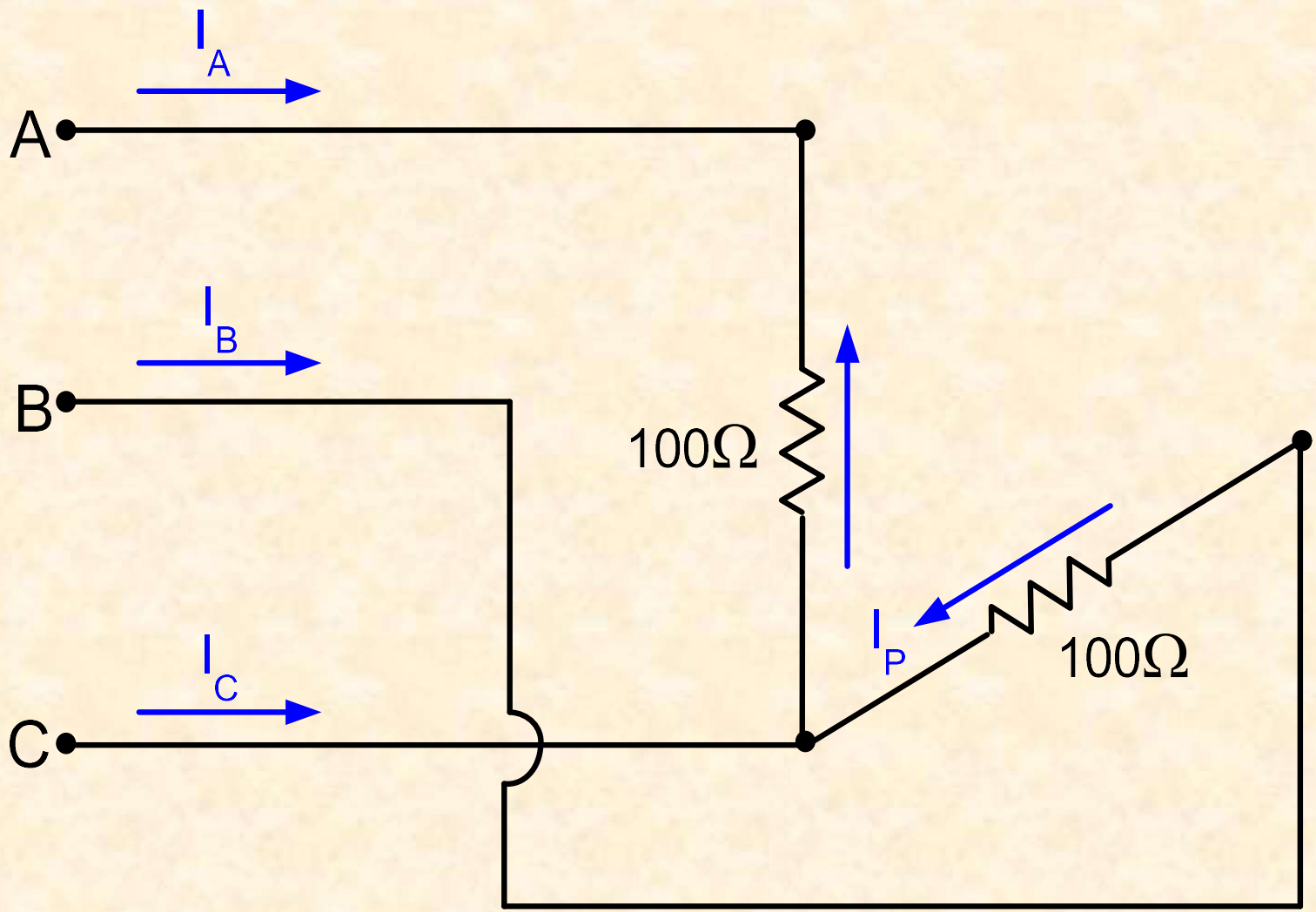
$$V_{ph} = V_{ph} / R = 400 / 100 = 4\ A$$

$$I_L = 4\sqrt{3}\ A$$

$$P = 3 \times I^2_{ph} \times R = 3 \times 4^2 \times 100$$

$$= 4800\ W$$

เอา ค.ต.ท 1 ชุด ออก



วิธีทำ

$I = 400 / 100 = 4\ A$

$P = 2 \times I^2 \times R$

$= 2 \times 4^2 \times 100$

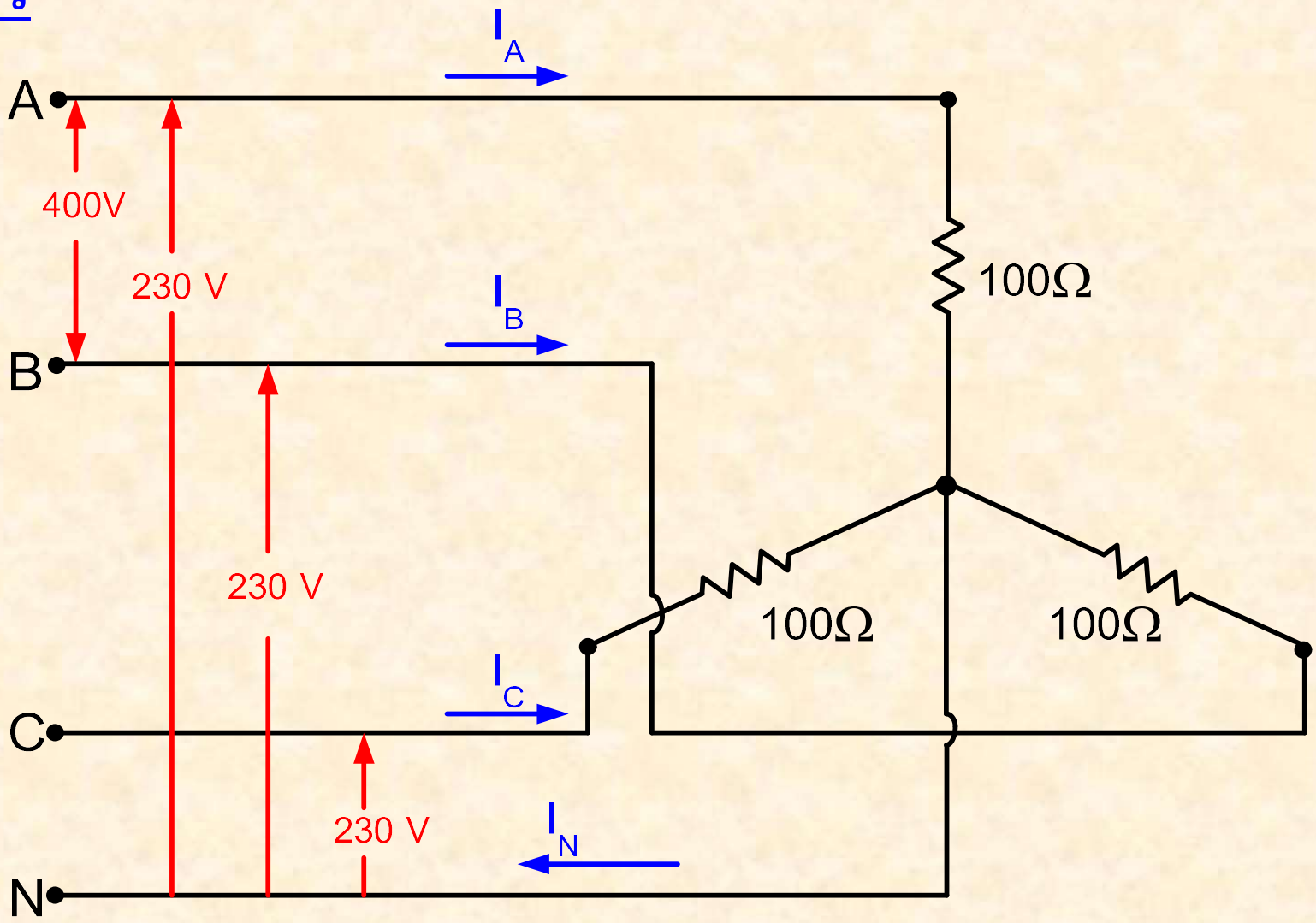
$= 3200\ W$

ตัวอย่างที่ 6 ระบบไฟฟ้า 3 ph , 4 w , 400 / 230 V

แต่ละชุดมีความต้านทาน 10 Ω

ต่อแบบ Star ให้หา I , P , I_n

รูปวงจร



$$I_{ph} = V_{ph} / Z = 230 / 10 = 23\ A = I_L$$

$$I_A = I_B = I_C = 23\ A$$

$$P = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\phi$$

$$= \sqrt{3} \times 400 \times 23 \times 1$$

$$= 15935\ W$$

Load เป็นแบบ Balanced

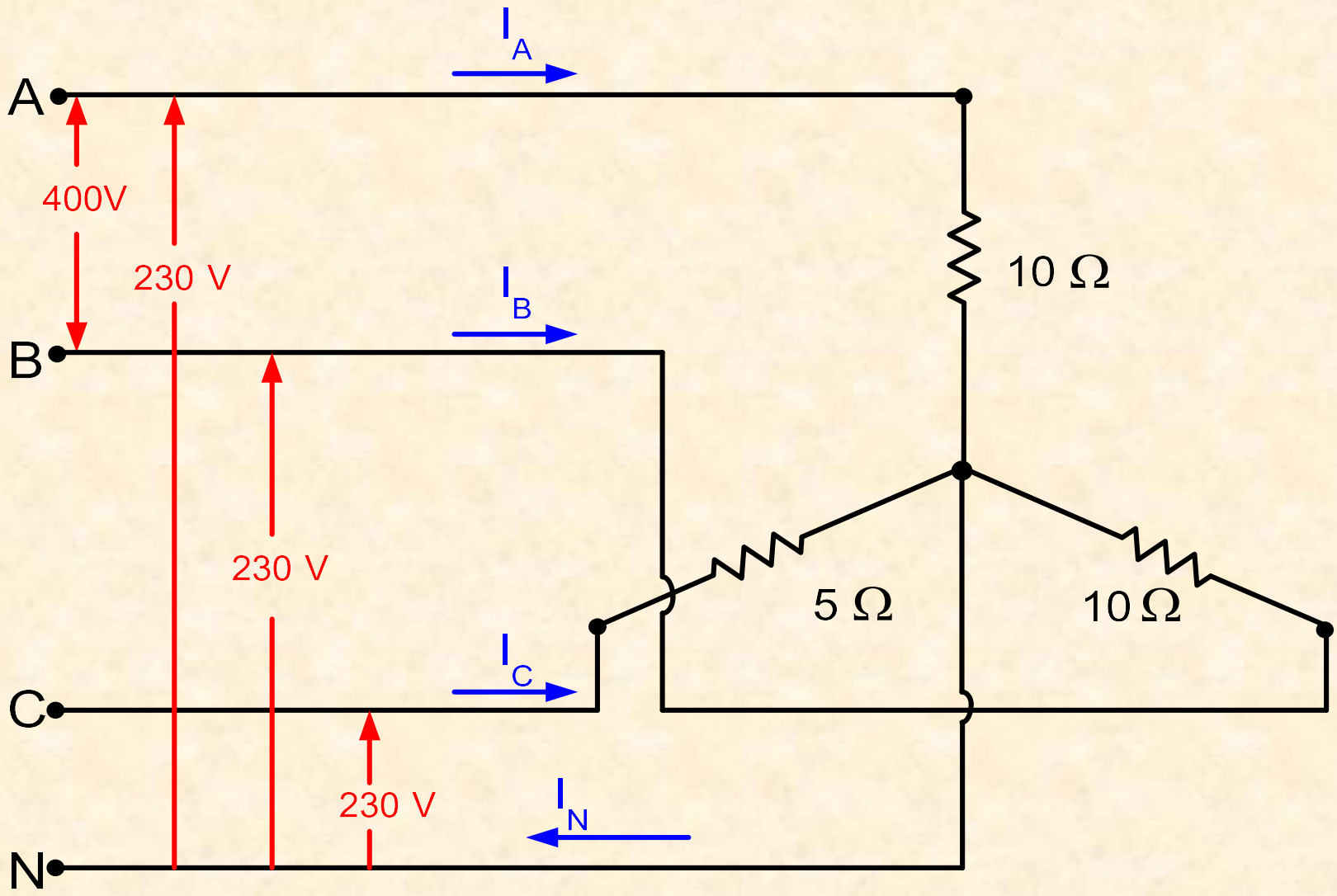
$$I_n = 0$$

ตัวอย่างที่ 7 ระบบไฟฟ้า 3 ph , 4 w , 400 / 230 V

มีโหลด 1 ph 3 ชุด ความต้านทาน 10 Ω ,

10 Ω , และ 5 Ω ให้หา I , P , I_n

รูปวงจร



$$I_A = V_{AN} / Z_A = 230 / 10 = 23\ A$$

$$I_B = V_{BN} / Z_B = 230 / 10 = 23\ A$$

$$I_C = V_{CN} / Z_C = 230 / 5 = 46\ A$$

$$P_T = P_A + P_B + P_C$$

$$= I^2_A \times R_A + I^2_B \times R_B + I^2_C \times R_C$$

$$= 23^2 \times 10 + 23^2 \times 10 + 46^2 \times 5$$

$$= 21160\ W$$

$$I_n = I_A + I_B + I_C$$

$$= 23 \angle 0 + 23 \angle -120 + 46 \angle -240$$

$$= 23 \angle 0 + 23 \angle -120 + 23 \angle -240 + 23 \angle -240$$

$$= 23 \angle -240$$

$$= 23 \text{ A}$$

ตัวอย่างที่ 8 โหลด 1000 VA (1 kVA) , 3 ph , 4 w , 230 / 400V

จงหากระแสโหลด

วิธีทำ

230/400 V 3ph , 4w

$$I_L = \frac{1000}{\sqrt{3}\times 400} = 1.443 \text{ A}$$

สำหรับโหลด 1000 VA (1 kVA) , 400 V

นั้นคิดเป็นกระแสได้ 1.443 A

At 230 / 400 V

1 kVA = 1.443 A

100 kVA = 144 A

50 kVA = 72 A

1000 kVA = 1443 A

800 kVA = 1443 x .8 = 1154 A

ต้องการมีความรู้ทันโลก

ต้องให้เวลาในการศึกษา

ด้วยความปรารถนาดี

จาก

ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์