



**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION



IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**

**PHYSIoT**  
PHYSICS & IoT ENGINEERING  
DUAL DEGREE PROGRAM

**AIoT**  
By IoT & Information Engineering  
School of Engineering **KMITL**

# ปัญหาเพาเวอร์แฟกเตอร์ และฮาร์มอนิก ที่วิศวกรอาจไม่รู้ว่ามี

โดย ดร.พิเชษฐ์ ไทยนิยม และ ดร.สุวิไล พุ่มโพธิ์  
14 ตุลาคม 2568 ; 13.30-15.30 น.  
Online : Webex



**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION



● **สภาวิศวกร**

ขอเชิญเข้าร่วมการอบรมในหัวข้อ...

เราจะลึกจากประสบการณ์ตรง :  
ปัญหาเพาเวอร์แฟกเตอร์และฮาร์มอนิก  
ที่วิศวกรอาจไม่รู้ว่ามี



**14** ตุลาคม 2568  
เวลา 13.30 – 15.30 น.

ช่องทางการรับชม

**ONLINE**

ผ่านโปรแกรม Cisco Webex

**ฟรี!! ไม่มีค่าใช้จ่าย**

ลงทะเบียนได้ที่



ดร.พิเชษฐ์ ไทยนิยม  
วิทยากร



ดร.สุวิไล พุ่มโพธิ์  
วิทยากร

**CPD 3** UNITS  
สูงสุดกรณีทำแบบทดสอบผ่าน

จัดโดย : คณะอนุกรรมการส่งเสริมความร่วมมือกับสมาคมวิชาชีพวิศวกรรม



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom

ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



**Dr. Pichet Thainiyom**

30+ yrs. Experience in Electrical Engineering

LV HV Overhead Underground 22.33.115,230kV

21+ yrs. Experience in Power Factor & Harmonic

14+ yrs. Experience in Electrical Safety Inspection

- Bachelor's Degree in Industrial Electrical Technology, KMIT'NB
- Master's Degree in M.B.A. , STOU
- Doctor's Degree in Public Administration , SPU
- Bachelor's Degree in Occupational Health and Safety (B.Sc. OH&S) , STOU
- Bachelor's Degree in Robotics and Automation Systems Engineering , SU (Studying)
  - Professional Engineer (Electrical Power), License No. 6780 , COT
  - ASEAN Chartered Professional Engineering, Registration No. 89261 , ACPECC
    - Electrical Inspector ; License No. 0302-01-2565-0007 , DLPW
    - Building Inspector, License No. 2424/2555 , DPT
    - Energy Auditor(Asst.), License No. B.0158 , DEDE
    - Regulated Energy Generation Systems Inspector , Reg. No. 000160 , DEDE
      - Speaker ; Power factor Correction and Harmonic Filtering
      - Committee ; Electrical System Inspection Association (ESiC)
      - Managing Director : PTES Co.,Ltd.



Orange Green  
Instruments



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



ชมรมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า

**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION

ฟรี!  
ลงทะเบียนผ่าน  
Zoom ฟรี!

ขอเชิญผู้สนใจเข้าร่วมก่อนใคร!

เรื่อง “การออกแบบและบำรุงรักษาตู้ไฟฟ้าและเครื่องจักรในระบบไฟฟ้า”

**Capacitor Bank & Harmonic Filter**

กำหนดการ  
วันที่ 11 กรกฎาคม 2563  
เวลา 19.00-21.00 น.

ผู้ดำเนินรายการ  
ดร.พิเชษฐ์ ไทยนิยม, วศ.สมชาย ไกรปราน, วศ.สุวิทย์ ปัทมวิเศษ

ผู้สนับสนุนการสัมมนา  
BEST, A-IAD, BIG, THERMO, P, M, PTES, GTO

สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า

**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION

การเตรียมตัว เป็นผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า

**EP 4** ตู้แรงดันไฟฟ้าแรงต่ำ (MDB) ตามมาตรฐาน IEC 61439 และการบันทึกผลการตรวจสอบตู้ MDB ตามกฎหมาย

วันอาทิตย์ที่ 22 พฤษภาคม 2563 เวลา 18.30-20.30 น.

Online ผ่านโปรแกรม

**เนื้อหาการบรรยาย**

1. ตู้แรงดันไฟฟ้าแรงต่ำตามมาตรฐาน IEC 61439
2. ความเข้าใจเรื่องการจัดระบบตู้ (ตามมาตรฐาน TIA/IEC)
3. ตู้แรงดันไฟฟ้าแรงต่ำกับโหลดด้วย คุณค่าการสูญเสีย
4. การบันทึกผลการตรวจสอบตู้แรงดันไฟฟ้าแรงต่ำตามแบบฟอร์มที่กำหนด

ค่าลงทะเบียน 400 บาท  
- สมาชิกสมาคม ESIC 300 บาท  
- สมาชิกภายนอก ESIC 300 บาท

\*ได้รับ 500as E-Cert จากสมาคม ESIC เมื่อผ่านการสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด\*

0898457547 www.esic.or.th ESIC.Thailand @esic

สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า

**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION

การเตรียมตัว เป็นผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า

**EP 6** การตรวจสอบและทดสอบ LV Capacitor Bank ที่ผู้ตรวจสอบจำเป็นต้องรู้

วันอาทิตย์ที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 18.30-20.30 น.

Online ผ่านโปรแกรม

**เนื้อหาการบรรยาย**

- ประสิทธิภาพของวงจรของ Capacitor Bank
- โหลดและผลกระทบจากของ Capacitor Bank
- Capacitor ตามมาตรฐาน IEC 60831-12
- การทดสอบประสิทธิภาพการสูญเสีย
- จุดที่ต้องใช้ในการตรวจสอบ Capacitor เพื่อความแม่นยำ

ค่าลงทะเบียน 400 บาท  
- สมาชิกสมาคม ESIC 300 บาท  
- สมาชิกภายนอก ESIC 300 บาท

\*ได้รับ 500as E-Cert จากสมาคม ESIC เมื่อผ่านการสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด\*

0898457547 www.esic.or.th ESIC.Thailand @esic

สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า

**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION

การเตรียมตัว เป็นผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า

ผลกระทบของฮาร์โมนิกต่อระบบไฟฟ้าที่ผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องรู้

วันอาทิตย์ที่ 12 พฤศจิกายน 2563 เวลา 18.00 - 21.00 น.

ผ่าน Online via ZOOM Meeting

**เนื้อหาการบรรยาย**

- พื้นฐานฮาร์โมนิก
- ผลกระทบของฮาร์โมนิกต่อระบบไฟฟ้า
- แนวทางการป้องกันฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้า

ค่าลงทะเบียน 500 บาท  
- สมาชิกสมาคม ESIC 400 บาท

0898457547 www.esic.or.th ESIC.Thailand @esic

BSA

**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION

จัดโดย สมาคมผู้ตรวจสอบฮาร์ดแวร์ ร่วมกับ สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า

**“ผลกระทบของฮาร์โมนิกต่อระบบไฟฟ้าที่ผู้ตรวจสอบต้องรู้”**

วันอาทิตย์ที่ 29 พฤษภาคม 2563 เวลา 19.00 - 20.00 น. รับชมผ่าน Zoom

บรรยายโดย

- ดร.พิเชษฐ์ ไทยนิยม
- อาจารย์อัยยชา ปาบุรุษ

0898457547





Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไอโอทีและสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL)

ที่ปรึกษา

คณะอนุกรรมการการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สภาผู้แทนราษฎร  
สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (EEI), สถาบันไทย-เยอรมัน (TGI)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

คณะกรรมการส่งเสริมด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา  
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL)  
ทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.)

AOLAB, University of Electro-Communications, Tokyo Japan

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมสารสนเทศ

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (เกียรตินิยมอันดับ 1)



**Dr.Suwilai Phumppo**

CompTIA Security+

ภพส.13198 วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

กรรมการ สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า (ESiC)

ความเชี่ยวชาญ

ระบบสารสนเทศอุตสาหกรรม (Industrial Informatics)

ความปลอดภัยระบบ IoT อุตสาหกรรม (IIoT

Security)

Dr. Suwilai Phumppo Dr. Pichet Thainiyom

ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน







ตรวจสอบตู้ควบคุมไฟฟ้า หลัก ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน และ ตรวจสอบวิธีการเดินสาย ของตู้ควบคุมไฟฟ้า

ตรวจสอบพบ ไม่มีการอุดช่องว่าง บริเวณด้านบนตู้ซึ่งอาจมีสัตว์จำพวก นก หนู งู จิ้งจก ทำให้เกิดความเสียหายได้ หรือละอองฝน สาดทำให้น้ำเข้าไปยังในบริเวณตู้ควบคุมได้ ภาพถ่ายความร้อนอุณหภูมิปกติ



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



## สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า

*ELECTRICAL STANDARD FOR THE PEOPLE FIRST*

### ปรัชญา (PHILOSOPHY)

*“Electrical system inspection standards are basis for sustainable social safety development”*

มาตรฐานงานตรวจสอบระบบไฟฟ้า คือ รากฐานในการพัฒนาสังคมให้ปลอดภัยอย่างยั่งยืน

### วิสัยทัศน์ (VISION)

*“To be a leading organization on electrical inspection according to national and international standard”*

เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานทั้งในประเทศและต่างประเทศ



Orange Green  
Instruments



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*

ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





# What is Power Factor in Electrical System ?



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



# POWER TRIANGLE AND POWER FACTOR

กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ  
สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้า

Appearance Power

$$S = \sqrt{3} * V * A$$

**KVA**



กำลังไฟฟ้าจริง  
สำหรับสร้างงาน

Active Power

$$P = \sqrt{3} * V * A * \cos \theta$$

**KW**

โหลดประเภท ขดลวดเหนี่ยวนำ  
เช่น มอเตอร์

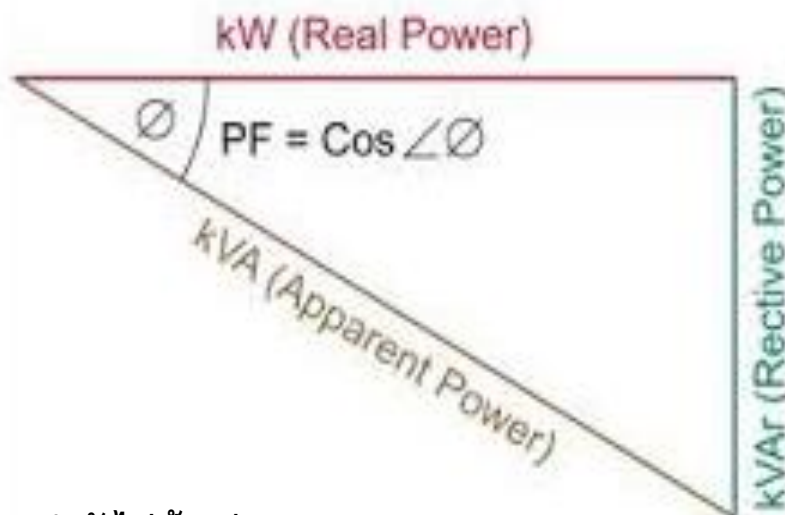


กำลังไฟฟ้าแฝง  
สำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก

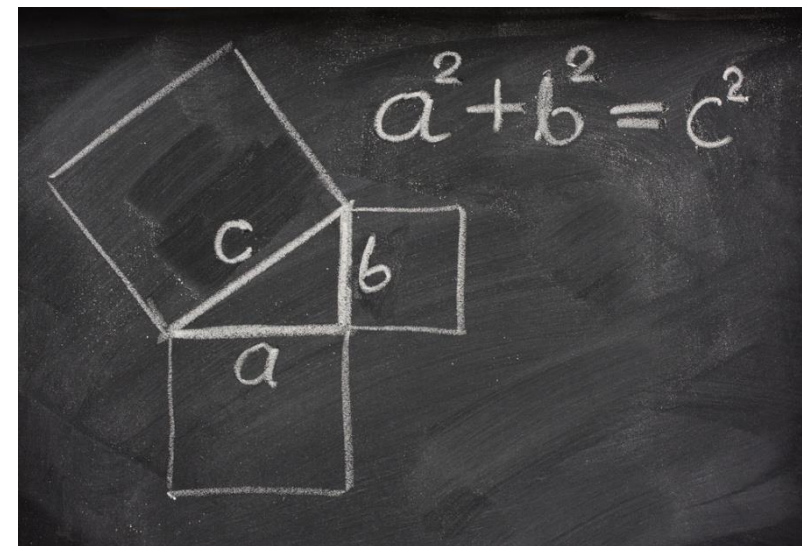
Reactive Power : kVAR

$$Q = \sqrt{3} * V * A * \sin \theta$$

**VAR**



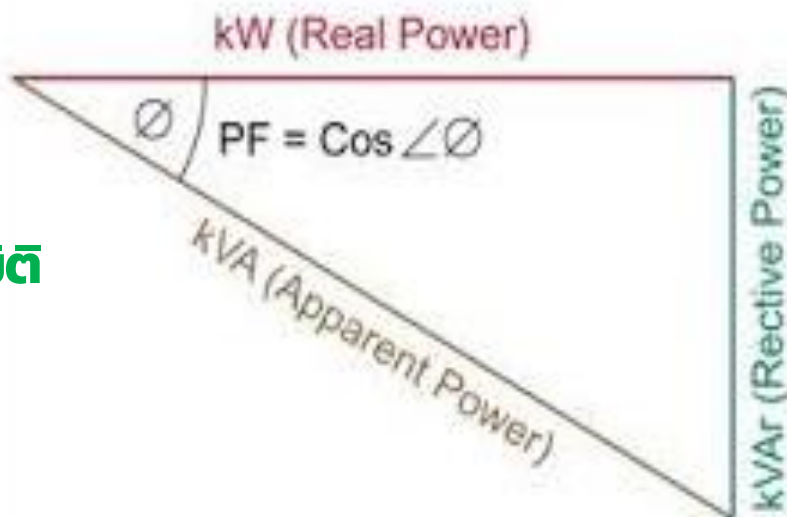
กฎพีทาโกรัส



$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$



## POWER TRIANGLE AND POWER FACTOR



ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า  
(POWER FACTOR : P.F. : COS∅)

คือ อัตราส่วนระหว่าง

กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power ; kW) ต่อ

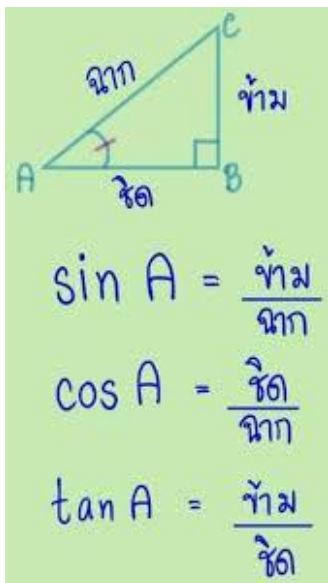
กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (Apparent Power ; kVA)

$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$

$$\text{Power Factor (pf)} = \frac{\text{kW (Real Power)}}{\text{kVA (Total Power)}}$$

\*\*\* มีค่าอยู่ระหว่าง (-1) - 0 - 1 \*\*\*

ฟังก์ชันตรีโกณมิติ





# Causes and Effects of Low Power Factor



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ  
สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้า  
Appearance Power : kVA



กำลังไฟฟ้าจริง  
สำหรับสร้างงาน  
Active Power : kW

โหลดประเภท ความต้านทาน  
เช่น หลอดไส้

กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ  
สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้า  
Appearance Power : kVA



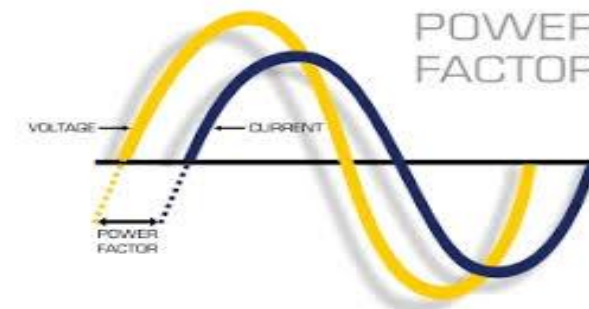
กำลังไฟฟ้าจริง  
สำหรับสร้างงาน  
Active Power : kW

โหลดประเภท ขดลวดเหนี่ยวนำ  
เช่น มอเตอร์

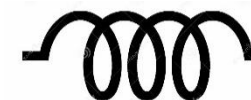


กำลังไฟฟ้าแฝง  
สำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก  
Reactive Power : kVAR

เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภท  
Inductive Load  
เช่น **Induction Motor**  
ที่ต้องใช้ **Reactive Power**  
ในการสร้างสนามแม่เหล็ก



ทำให้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าตามหลัง  
แรงดันไฟฟ้า (Lagging)



# Effects of Low Power Factor

## 1. ผลกระทบทางด้านเทคนิค

### 1. กระแสไฟฟ้าในระบบสูงขึ้น (Higher Current Flow)

1. เมื่อค่า PF ต่ำ หมายความว่ามีการล้ากรีแอกทีฟ (Reactive Power) มาก
2. ทำให้ต้องใช้กระแสมากขึ้นในการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แท้จริง (Real Power) เท่าเดิม
3. 🖐️ ผลคือ สายไฟ สวิตช์ เบรกเกอร์ และหม้อแปลงต้องรับภาระเกินจำเป็น

### 2. การสูญเสียพลังงานในสายเพิ่มขึ้น (Increased $I^2R$ Losses)

1. เนื่องจากกระแสสูงขึ้น ความร้อนในสายไฟและอุปกรณ์ก็เพิ่ม
2. ทำให้ประสิทธิภาพระบบลดลงและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

### 3. แรงดันตก (Voltage Drop)

1. กระแสที่สูงขึ้นทำให้เกิดแรงดันตกตามแนวยาวของสายส่ง
2. ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายต่ำลง เครื่องจักรอาจทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ

### 4. ภาระต่อหม้อแปลงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

1. เนื่องจากต้องผลิตพลังงานรีแอกทีฟร่วมด้วย
2. ทำให้ต้องใช้ขนาดหม้อแปลงหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหญ่กว่าที่จำเป็น





# Effects of Low Power Factor



## 2. ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ

### 1. ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

1. การไฟฟ้าส่วนใหญ่ว่าจะเก็บ “ค่าปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ” หาก PF ต่ำกว่า เกณฑ์ 0.85
2. ทำให้ผู้ใช้ไฟต้องเสียค่าใช้จ่ายส่วนเพิ่มทุกเดือน (สำหรับผู้ใช้ไฟประเภท 3 ขึ้นไป)

### 2. ค่าใช้จ่ายลงทุนในอุปกรณ์ขนาดใหญ่ขึ้น

1. ต้องใช้สายไฟ หม้อแปลง เบรกเกอร์ หรืออุปกรณ์ป้องกันที่รองรับกระแสสูงขึ้น → ราคาสูงขึ้น

### 3. ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าลดลง

1. กำลังไฟฟ้าที่ซื้อไปไม่ได้ถูกนำมาใช้งานจริงทั้งหมด
2. สิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่ได้ประโยชน์



## Effects of Low Power Factor

⚡ สรุปสั้น ๆ

ค่า Power Factor ต่ำ

= กระแสสูงขึ้น → สูญเสียพลังงานมากขึ้น → ค่าไฟแพงขึ้น → ประสิทธิภาพระบบลดลง  
→ เงินลงทุนค่าติดตั้งระบบไฟฟ้าสูงขึ้น





## ทำไม Power Factor ต่ำ ค่าไฟฟ้าสูง ?

## ตัวอย่าง

| รหัสการไฟฟ้า                      |    | หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า |                           | รหัสเครื่องวัด               |                                      | ประเภทอัตรา |  | แรงดัน   |  | ตัวคูณ |  | วันที่อ่านหน่วย |  |
|-----------------------------------|----|--------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------|--|----------|--|--------|--|-----------------|--|
|                                   |    |                    |                           |                              |                                      | 3224        |  | 22-33 KV |  | 800    |  | 31/07/2557      |  |
|                                   |    | เลขอ่านครั้งหลัง   | เลขอ่านครั้งก่อน          | กิโลวัตต์ / หน่วย / กิโลวาร์ | จำนวนเงิน (บาท)                      |             |  |          |  |        |  |                 |  |
| พลังงานไฟฟ้าสูงสุด<br>(กิโลวัตต์) | P  | 0.648              | 0.600                     | 38.40                        | 5104.51                              |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   | OP | 1.088              | 0.928                     | 128.00                       |                                      |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   | H  | 1.136              | 0.972                     | 131.20                       |                                      |             |  |          |  |        |  |                 |  |
| พลังงานไฟฟ้า<br>(หน่วย)           | P  | 42.100             | 37.180                    | 3936.00                      | 14482.91                             |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   | OP | 173.600            | 142.050                   | 25240.00                     |                                      |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   | H  | 149.410            | 123.990                   | 20336.00                     |                                      |             |  |          |  |        |  |                 |  |
| ค่าบริการ                         |    | 312.24 บาท         | ได้รับการอุดหนุน 0.00 บาท |                              | 312.24                               |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    | รวมเงินค่าไฟฟ้าฐาน |                           |                              | 119073.04                            |             |  |          |  |        |  |                 |  |
| กิโลวาร์                          |    | 0.824              | 0.700                     | 99.20                        | 1009.26                              |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | 16                                   |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | ค่า Ft ระบบผลิต (บาท/หน่วย) 0.690    |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | ค่า Ft ระบบส่ง (บาท/หน่วย) 0.000     |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | ค่า Ft ระบบจำหน่าย (บาท/หน่วย) 0.000 |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | รวมค่า Ft (บาท/หน่วย) 0.690          |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | หน่วยที่คิดค่า Ft (หน่วย) 49512.0    |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | รวมจำนวนเงินค่า Ft (บาท) 34163.2     |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | จำนวนเงิน (บาท)                      |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | ค่าไฟฟ้าฐาน 119073.0                 |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | ค่าไฟฟ้า + ค่า Ft 153236.3           |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 1009.2           |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | รวมเงินค่าไฟฟ้า 154245.5             |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % 10797.1          |             |  |          |  |        |  |                 |  |
|                                   |    |                    |                           |                              | รวมเงินที่ต้องชำระ 165042.7          |             |  |          |  |        |  |                 |  |



## การคิดค่า Power Factor ของการไฟฟ้า



ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ : สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้า รีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้นเศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์







# การคิดค่า Power Factor ของการไฟฟ้า

ตัวอย่าง

บิลค่าไฟฟ้า

kW สูงสุด

กฟฟ.ให้ใช้ฟรี

$$131.20 \times 61.97\% = 81.30 \text{ kVAR}$$

ใช้เกินมา

$$99.20 - 81.30 = 17.90 \text{ kVAR}$$

คิดเป็นเงิน

$$18 \times 57.07 = 1,009.2 \text{ บาท}$$

| รหัสการไฟฟ้า |  | หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า |  | รหัสเครื่องวัด |  | ประเภทอัตรา |  | แรงดัน   |  | ตัวคูณ |  | วันที่อ่านหน่วย |  |
|--------------|--|--------------------|--|----------------|--|-------------|--|----------|--|--------|--|-----------------|--|
| A11201       |  |                    |  |                |  | 3224        |  | 22-33 KV |  | 800    |  | 31/07/255       |  |

|                                |    | เลขอ่านครั้งหลัง |  | เลขอ่านครั้งก่อน |  | กิโลวัตต์ / หน่วย / กิโลวาร์ |  | จำนวนเงิน (บาท) |  |
|--------------------------------|----|------------------|--|------------------|--|------------------------------|--|-----------------|--|
| พลังงานไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์) | P  | 0.648            |  |                  |  |                              |  | 5104.51         |  |
|                                | OP | 1.088            |  | 0.928            |  | 128.00                       |  |                 |  |
|                                | H  | 1.136            |  | 0.972            |  | 131.20                       |  |                 |  |
| พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)           | P  | 42.100           |  | 37.180           |  | 3936.00                      |  | 14482.91        |  |
|                                | OP | 173.600          |  | 142.050          |  | 25240.00                     |  | 99173.38        |  |
|                                | H  | 149.410          |  | 123.990          |  | 20336.00                     |  |                 |  |
| ค่าบริการ                      |    | 312.24 บาท       |  | ได้รับการอุดหนุน |  | 0.00 บาท                     |  | 312.24          |  |
|                                |    |                  |  |                  |  | รวมเงินค่าไฟฟ้าฐาน           |  | 119073.04       |  |
| กิโลวาร์                       |    | 0.824            |  | 0.700            |  | 99.20                        |  | 1009.26         |  |

|                                |  |         |
|--------------------------------|--|---------|
| ค่า Ft ระบบผลิต (บาท/หน่วย)    |  | 0.690   |
| ค่า Ft ระบบส่ง (บาท/หน่วย)     |  | 0.000   |
| ค่า Ft ระบบจำหน่าย (บาท/หน่วย) |  | 0.000   |
| รวมค่า Ft (บาท/หน่วย)          |  | 0.690   |
| หน่วยที่คิดค่า Ft (หน่วย)      |  | 49512.0 |
| รวมจำนวนเงินค่า Ft (บาท)       |  | 34163.2 |

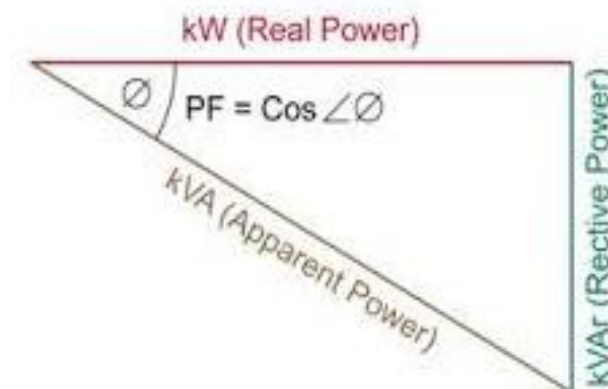
| จำนวนเงิน (บาท)     |              |
|---------------------|--------------|
| ค่าไฟฟ้าฐาน         | 119073.04    |
| ค่าไฟฟ้า + ค่า Ft   | 153236.38    |
| ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | 1009.26      |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า     | 154245.64    |
| ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % | 10797.19     |
| รวมเงินที่ต้องชำระ  | 18 165042.83 |

kVAR ที่ใช้ไป

การไฟฟ้าให้ใช้ kVar ได้ 61.97% ของ kW สูงสุดในแต่ละเดือน เกินจากนั้น การไฟฟ้าจะคิดเงิน เรียกว่าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$

$$\text{Power Factor (pf)} = \frac{\text{kW (Real Power)}}{\text{kVA (Total Power)}}$$

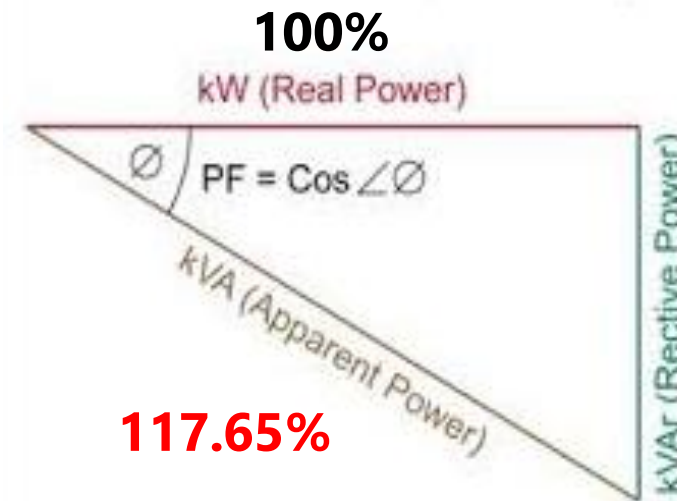




# ทำไมต้องปรับปรุงค่า Power Factor ให้มากกว่า 0.85 ?



ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ : สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้า รีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตราkilowatt จะ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้นเศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์



117.65%

$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$

$$\text{Power Factor (pf)} = \frac{\text{kW (Real Power)}}{\text{kVA (Total Power)}} = \frac{100\%}{117.65\%} = 0.85$$







# Benefits of Power Factor Improvement



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

## Benefits of Power Factor Improvement

### ⚙️ 1. ประโยชน์ทางด้านเทคนิค

#### 1. ลดกระแสไฟฟ้าในระบบ

1. เมื่อ PF สูงขึ้น กระแสที่ต้องไหลในสายไฟลดลง
2. ทำให้ระบบไฟฟ้าทำงานเบาลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

#### 2. ลดการสูญเสียพลังงานในสายส่ง ( $I^2R$ Losses)

1. กระแสลดลง → ความร้อนในสายลดลง → สูญเสียน้อยลง

#### 3. แรงดันตกในสายลดลง (Voltage Drop ลดลง)

1. แรงดันปลายสายคงที่ขึ้น อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

#### 4. เพิ่มกำลังใช้งานจริงของระบบ (Available Capacity เพิ่มขึ้น)

1. หม้อแปลง สายส่ง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดจริงได้มากขึ้น
2. ไม่ต้องขยายขนาดอุปกรณ์โดยไม่จำเป็น





## Benefits of Power Factor Improvement



### 2. ประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจ

#### 1. ลดค่าไฟฟ้า / ค่าปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ

1. การไฟฟ้ามีการคิดค่าปรับหาก PF ต่ำกว่าเกณฑ์ 0.85
2. เมื่อปรับปรุง PF ให้สูงขึ้น จะลดหรือยกเลิกค่าปรับส่วนนี้ได้

#### 2. ลดขนาดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องลงทุน

1. เมื่อกระแสลดลง สามารถใช้สายไฟ หม้อแปลง หรือเบรกเกอร์ขนาดเล็กลงได้

#### 3. เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบไฟฟ้า

1. ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและลดค่าใช้จ่ายระยะยาว

#### 4. ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

1. ลดความร้อนสะสมและความเครียดของระบบไฟฟ้า



## Benefits of Power Factor Improvement

⚡ สรุปสั้น ๆ

การปรับปรุงค่า Power Factor

= ลดกระแส + ลดการสูญเสีย + ประหยัดค่าไฟ + ยืดอายุอุปกรณ์

→ ลดเงินลงทุนค่าติดตั้งระบบไฟฟ้าเพิ่ม







# Power Factor Improvement



*Dr. Suwilai Phumpho    Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



## ⚙ 1. การติดตั้ง ตัวเก็บประจุ (Capacitor Bank)

เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน

• **หลักการ:** ตัวเก็บประจุจะจ่ายพลังงานรีแอกทีฟ (Reactive Power) ชนิด *นำหน้า (Leading)*

เพื่อชดเชยโหลดที่มีค่า *ล่าช้า (Lagging)* เช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำ

• **ผลลัพธ์:** ทำให้ค่า PF ไกล่เคียง 1 มากขึ้น

### รูปแบบการติดตั้ง

• แบบ **Fixed Capacitor Bank** : ทำงานตลอดเวลา เหมาะกับโหลดคงที่

• แบบ **Automatic Capacitor Bank (APFC Panel)** : ควบคุมการทำงานโดยอัตโนมัติด้วย รีเลย์ PF Controller เหมาะกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา







## ⚙️ 2. การใช้ Synchronous Condenser (มอเตอร์ซิงโครนัส)

- เป็นมอเตอร์ซิงโครนัสที่เดินเปล่า (ไม่ขับโหลด) และปรับค่ากระแสกระตุ้น (Excitation Current) เพื่อผลิตพลังงานรีแอกทีฟ
- เหมาะสำหรับระบบขนาดใหญ่ เช่น โรงงานหรือสถานีย่อย



SYNCHRONOUS MOTOR

## ⚙️ 4. การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่า PF สูง

- เช่น มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor) หรือหลอดไฟ LED ที่มี Power Factor Correction ในตัว
- ช่วยลดการรีแอกทีฟตั้งแต่ต้นทาง



## ⚙️ 3. การใช้ Static Var Generator (SVG)

- ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) เช่น IGBT หรือ MOSFET
- ทำหน้าที่ปรับรูปคลื่นกระแสให้มีเฟสตรงกับแรงดัน
- นิยมใช้ในอุปกรณ์สมัยใหม่ เช่น คอมพิวเตอร์, UPS, อินเวอร์เตอร์, ไดรฟ์มอเตอร์



Wall mount type Rack type



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom

ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



## Power Capacitor and Capacitor Bank

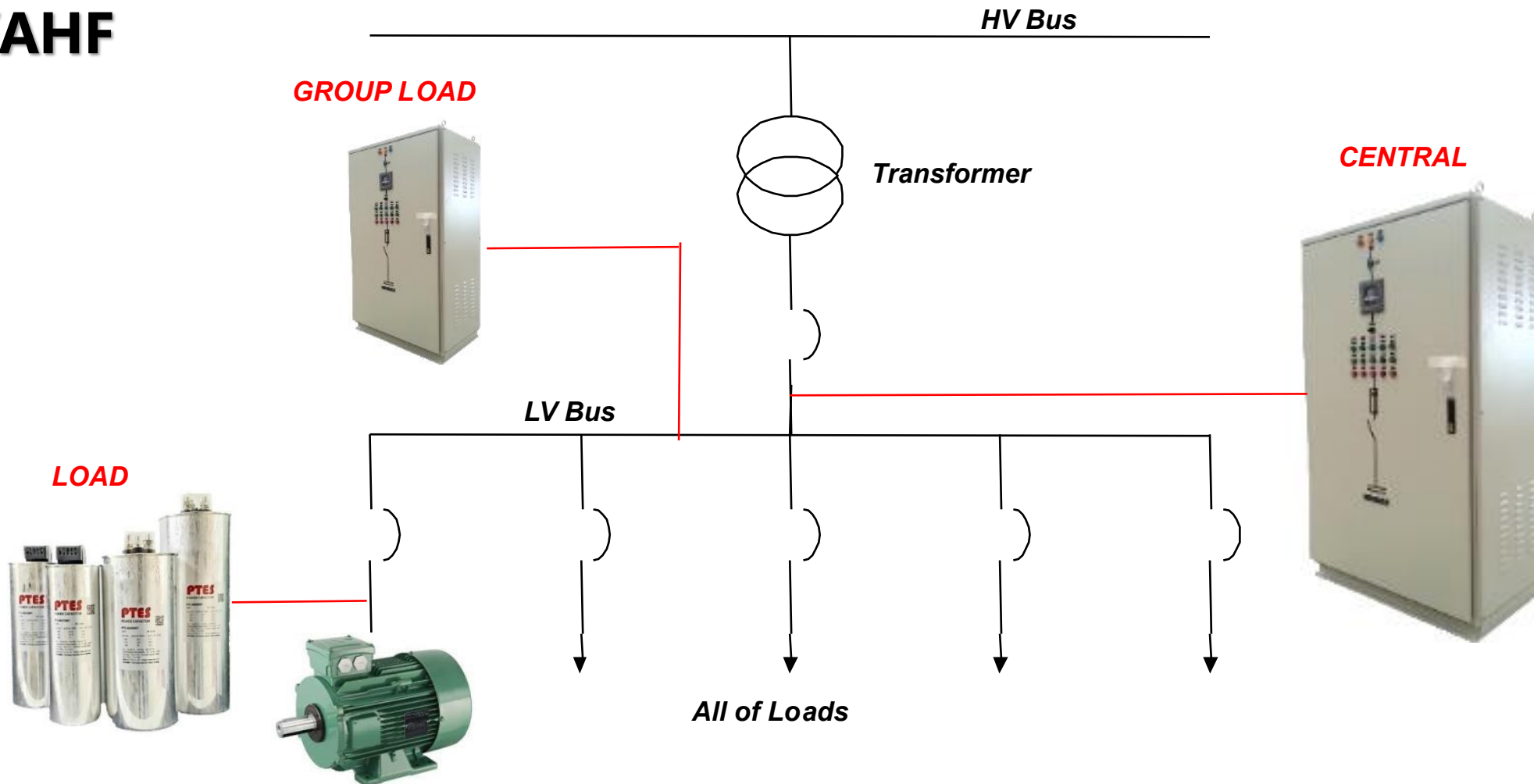


*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



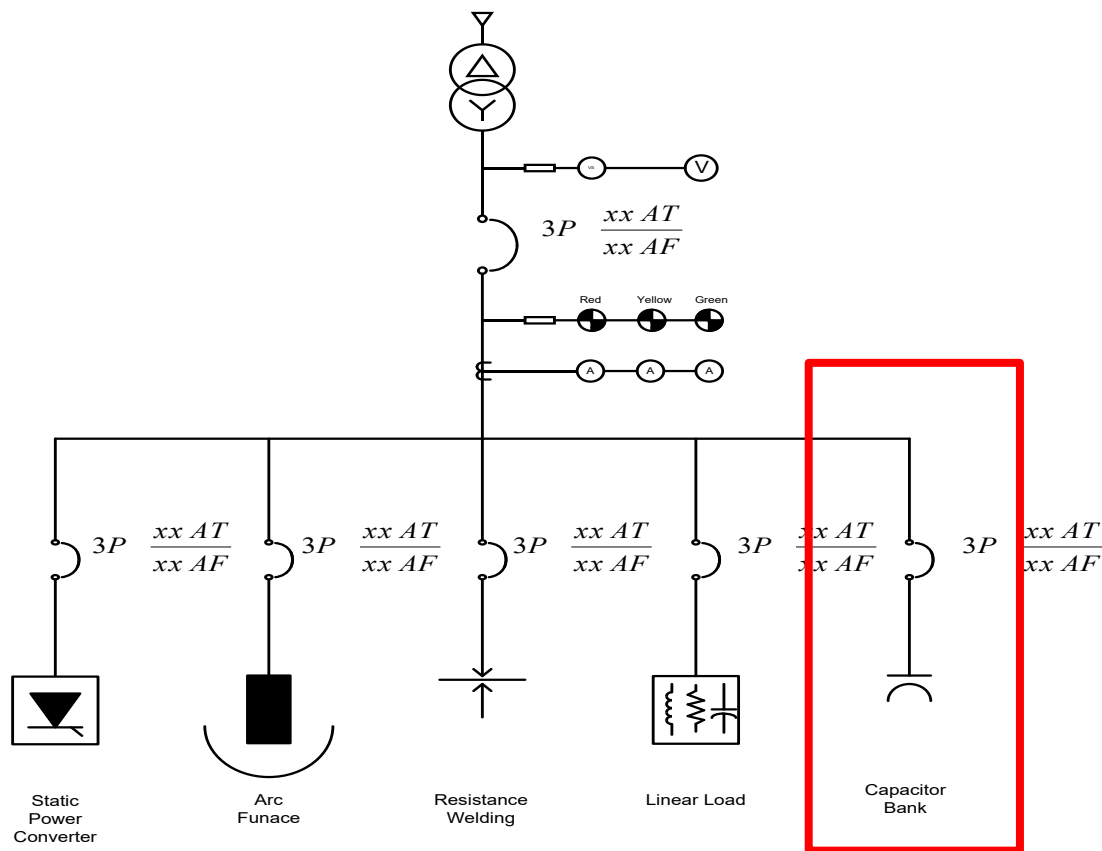


# APF/AHF





IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**



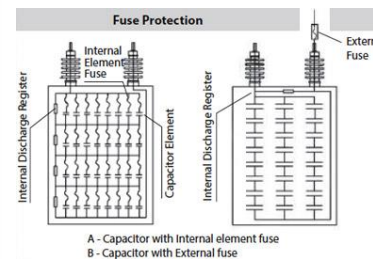
Dr. Suwilai Phumppo Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



## ชนิดของ Power Capacitor ที่ใช้ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (P.F.)

### Capacitor Unit

- แบ่งตามพิกัดแรงดันใช้งาน
  - High Voltage Power Capacitor
  - Low Voltage Power Capacitor
- แบ่งตามประเภทของฉนวน
  - แบบใช้ของเหลวเป็นฉนวนและระบายความร้อน
  - แบบใช้ของแข็งเป็นฉนวน
- แบ่งตามประเภทการติดตั้ง
  - Indoor
  - Outdoor
- อื่นๆ







## IEC 60831: Part 1 & 2

Shunt power capacitors of the self healing type  
for a.c systems having rated voltage up to and including 1kV





Figure 1 - (a) Metal layer - (b) Polypropylene film



Figure 2

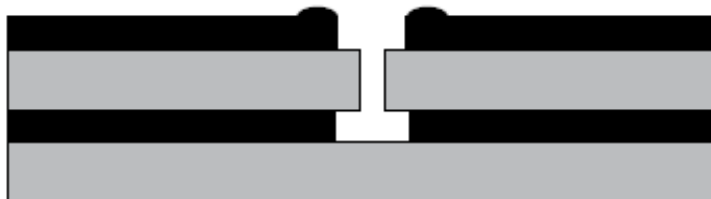


Figure 3

## Self Healing

An electric breakdown is possible in the capacitor films due to electric or mechanical over stress. Due to this a small area of metallization will get evaporated and the capacitor will continue to be in service. Continuation of these phenomena will reduce the capacitance value as well as life of the capacitor over a period of time.

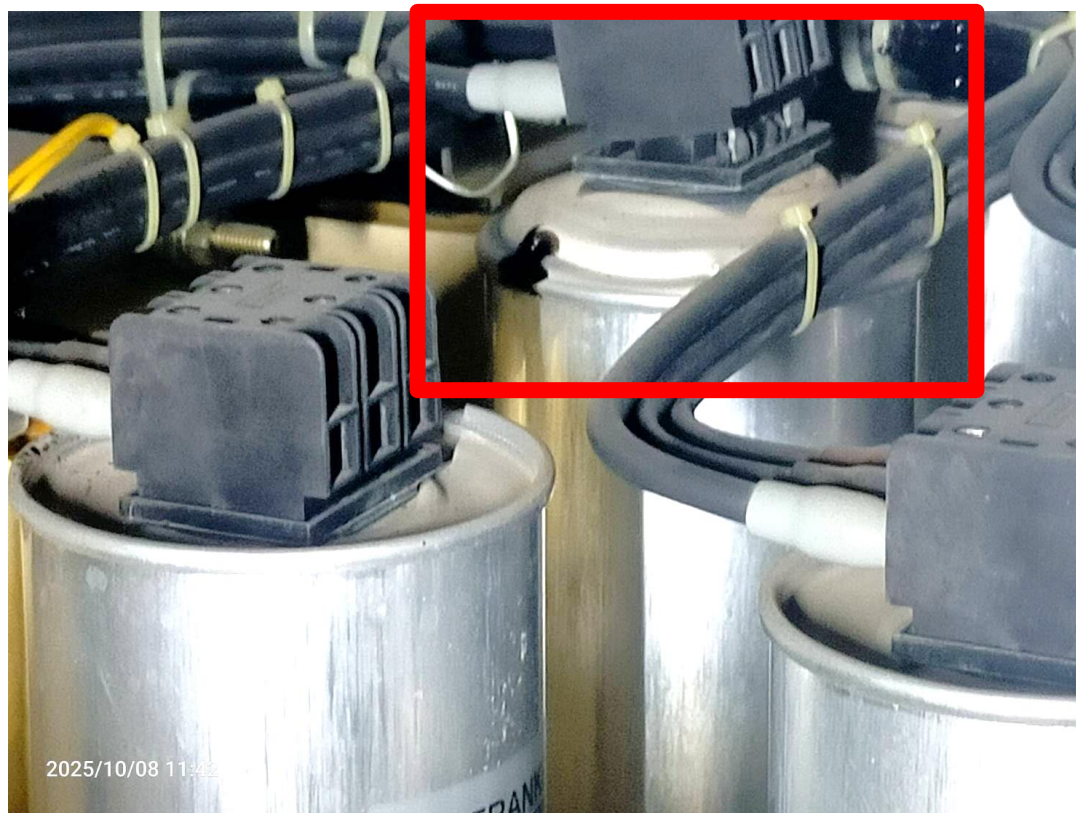
Self-healing is a process by which the capacitor restores itself in the event of a fault in the dielectric which can happen during high overloads, voltage transients, etc.

When insulation breaks down, a short duration arc is formed (figure 1).

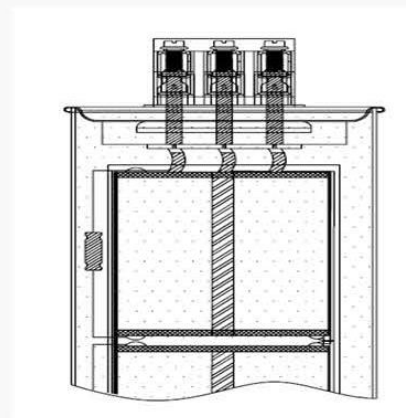
The intense heat generated by this arc causes the metallization in the vicinity of the arc to vaporise (figure 2).

Simultaneously it re-insulates the electrodes and maintains the operation and integrity of the capacitor (figure 3).

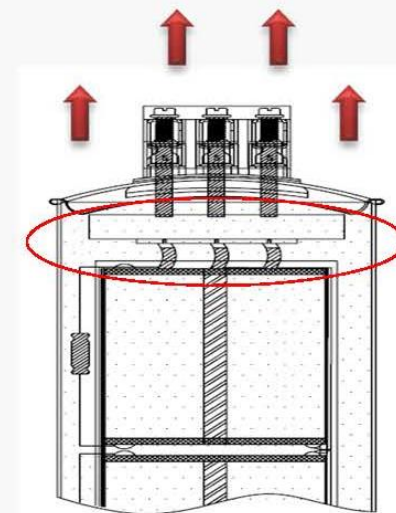




OPERATING CONDITION



TORN-OFF  
CONDITION







## การเลือกขนาดติดตั้ง Capacitor Bank

ติดตั้งใหม่

ติดตั้งอยู่แล้ว

รู้โหลด

ไม่รู้โหลด

ตรวจวัด

บิลค่าไฟฟ้า

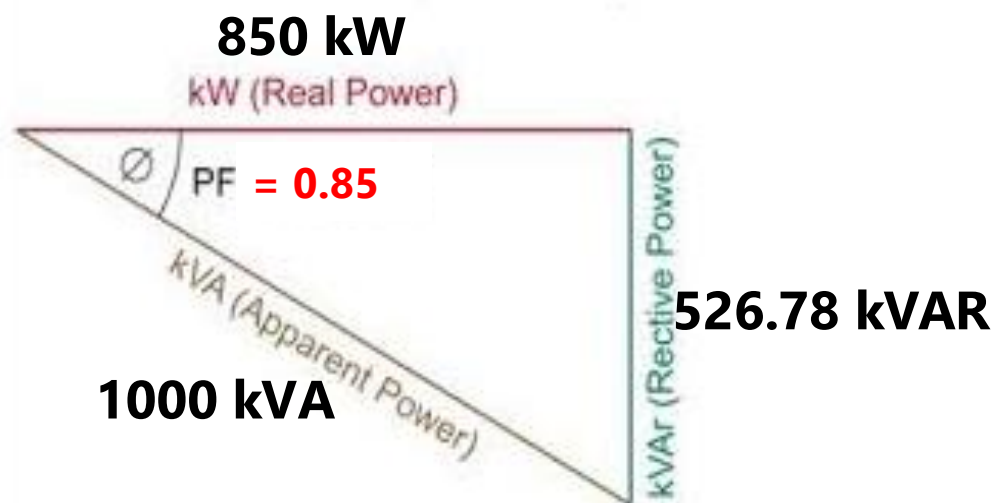


Orange Green Instruments



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

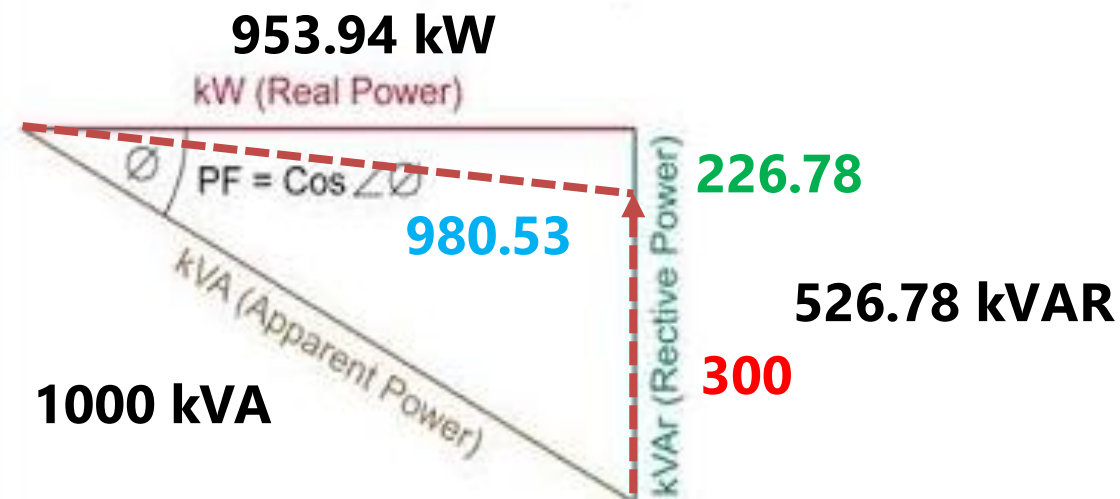
## การติดตั้ง Capacitor Bank 30% ของพิกัดหม้อแปลง



$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$

$$\text{Power Factor (pf)} = \frac{\text{kW (Real Power)}}{\text{kVA (Total Power)}} = \frac{850}{1000}$$

$$= 0.85$$



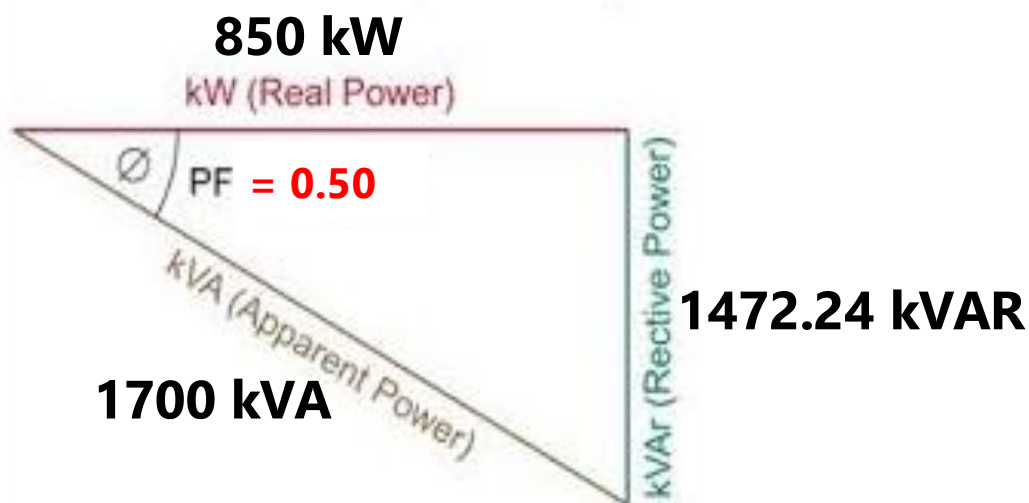
$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$

$$\text{Power Factor (pf)} = \frac{\text{kW (Real Power)}}{\text{kVA (Total Power)}} = \frac{953.94}{980.53}$$

$$= 0.97$$



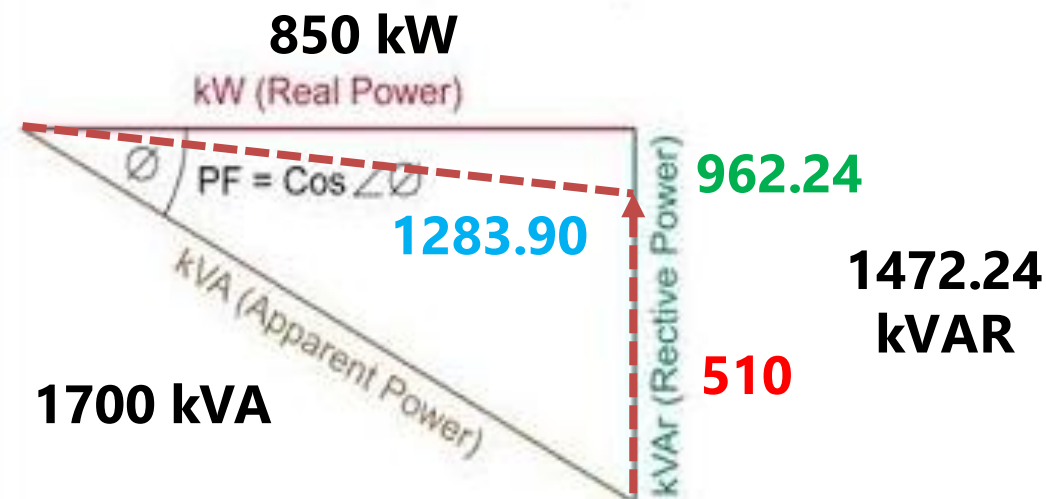
## การติดตั้ง Capacitor Bank 30% ของพิกัดหม้อแปลง



$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$

$$\text{Power Factor (pf)} = \frac{\text{kW (Real Power)}}{\text{kVA (Total Power)}} = \frac{850}{1700}$$

$$= 0.50$$



$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$

$$\text{Power Factor (pf)} = \frac{\text{kW (Real Power)}}{\text{kVA (Total Power)}} = \frac{850}{1283.90}$$

$$= 0.66$$



# การคิดค่า Power Factor ของการไฟฟ้า

## ตัวอย่าง

บิลค่าไฟฟ้า

**kW សុំសុំ**

|              |                    |                |             |          |        |                 |
|--------------|--------------------|----------------|-------------|----------|--------|-----------------|
| รหัสการไฟฟ้า | หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า | รหัสเครื่องวัด | ประเภทอัตรา | แรงดัน   | ตัวคูณ | วันที่อ่านหน่วย |
| A11201       |                    |                | 3224        | 22-33 KV | 800    | 31/07/255       |

| เลขอ่านครั้งหลัง   | เลขอ่านครั้งก่อน | กิโลวัตต์ / หน่วย / กิโลวาร์ | จำนวนเงิน (บาท) |
|--------------------|------------------|------------------------------|-----------------|
| พลังไฟฟ้าสูงสุด P  | 0.648            |                              | 5104.51         |
| (กิโลวัตต์) OP     | 1.088            | 0.928                        | 128.00          |
| H                  | 1.136            | 0.972                        | 131.20          |
| พลังงานไฟฟ้า P     | 42.100           | 37.180                       | 3936.00         |
| (หน่วย) OP         | 173.600          | 142.050                      | 25240.00        |
| H                  | 149.410          | 123.990                      | 20336.00        |
| ค่าบริการ          | 312.24 บาท       | ได้รับการอุดหนุน 0.00 บาท    | 312.24          |
| รวมเงินค่าไฟฟ้าฐาน |                  |                              | 119073.04       |
| กิโลวาร์           | 0.824            | 0.700                        | 99.20           |
|                    |                  |                              | 1009.26         |

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| ค่า Ft ระบบผลิต (บาท/หน่วย)    | 0.69    |
| ค่า Ft ระบบส่ง (บาท/หน่วย)     | 0.00    |
| ค่า Ft ระบบจำหน่าย (บาท/หน่วย) | 0.00    |
| รวมค่า Ft (บาท/หน่วย)          | 0.69    |
| หน่วยที่คิดค่า Ft (หน่วย)      | 49512.0 |
| รวมจำนวนเงินค่า Ft (บาท)       | 34163.2 |

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| จำนวนเงิน (บาท)     |             |
| ค่าไฟฟ้าฐาน         | 119073.0    |
| ค่าไฟฟ้า + ค่า Ft   | 153236.3    |
| ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม  | 1009.2      |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า     | 154245.5    |
| ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % | 10797.1     |
| รวมเงินที่ต้องชำระ  | 37 165042.7 |

## kVAR ที่ใช้ไป

การไฟฟ้าให้ใช้ kVar ได้ 61.97% ของ kW สูงสุดในแต่ละเดือน  
เกินจากนั้น การไฟฟ้าจะคิดเงิน เรียกว่าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

**กฟฟ.ให้ใช้ฟรี**

$$131.20 \times 61.97\% = 81.30 \text{ kVAR}$$

## ใช้เกินมา

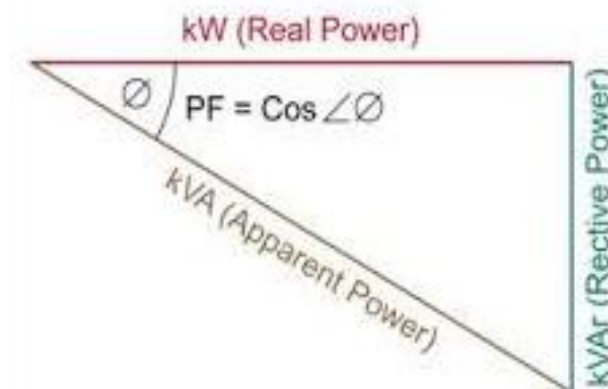
$$99.20 - 81.30 = 17.90 \text{ kVAR}$$

## คิดเป็นเงิน

**18 x 57.07 = 1,009.2 บาท**

$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$

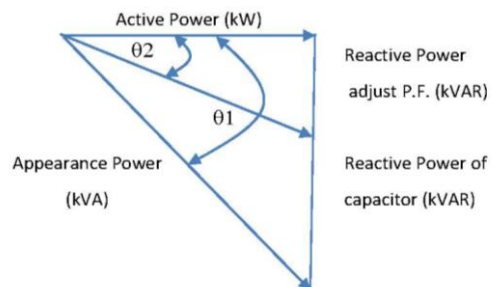
$$\text{Power Factor (pf)} = \frac{\text{kW (Real Power)}}{\text{kVA (Total Power)}}$$







## การหาขนาด KVAR



### Formular

$$Q_c = \frac{P * \text{Values from the table}}{100}$$

By

$Q_c$  : The capacity of the capacitor required. [kvar]

P : Load [kW]

### Example

Rated of Load P = 1,000 kW

P.F. before adjustment = 0.75

P.F. after adjustment = 0.95

Values from the table = 55

$$Q_c = \frac{1,000 * 55}{100} = 550 \text{ kvar}$$

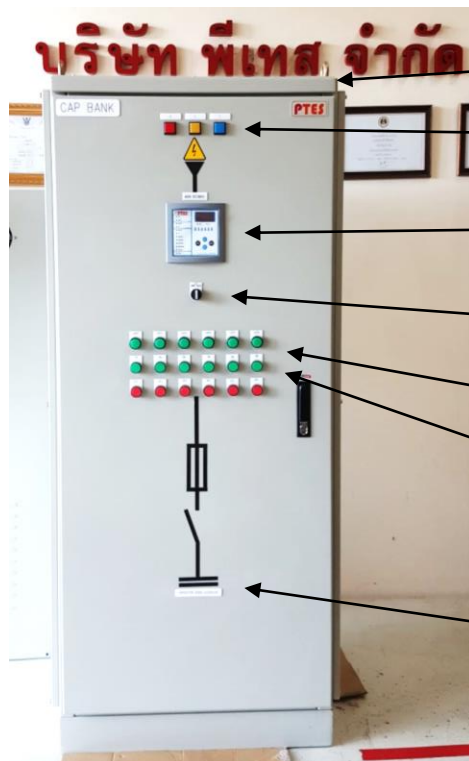
Power Factor value after adjustment.

|      | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.89 | 0.88 | 0.87 | 0.86 | 0.85 | 0.84 | 0.83 | 0.82 | 0.81 | 0.80 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.50 | 173  | 159  | 153  | 148  | 144  | 140  | 137  | 134  | 131  | 128  | 125  | 122  | 119  | 117  | 114  | 111  | 109  | 106  | 103  | 101  | 98   |
| 0.51 | 169  | 154  | 148  | 144  | 139  | 136  | 132  | 129  | 126  | 123  | 120  | 117  | 115  | 112  | 109  | 107  | 104  | 101  | 99   | 96   | 94   |
| 0.52 | 164  | 150  | 144  | 139  | 135  | 131  | 128  | 125  | 122  | 119  | 116  | 113  | 110  | 108  | 105  | 102  | 100  | 97   | 94   | 92   | 89   |
| 0.53 | 160  | 146  | 140  | 135  | 131  | 127  | 124  | 120  | 117  | 114  | 112  | 109  | 106  | 103  | 101  | 98   | 95   | 93   | 90   | 88   | 85   |
| 0.54 | 156  | 142  | 136  | 131  | 127  | 123  | 120  | 116  | 113  | 110  | 107  | 105  | 102  | 99   | 97   | 94   | 91   | 89   | 86   | 83   | 81   |
| 0.55 | 152  | 138  | 132  | 127  | 123  | 119  | 116  | 112  | 109  | 106  | 103  | 101  | 98   | 95   | 93   | 90   | 87   | 85   | 82   | 79   | 77   |
| 0.56 | 148  | 134  | 128  | 123  | 119  | 115  | 112  | 108  | 105  | 102  | 100  | 97   | 94   | 91   | 89   | 86   | 83   | 81   | 78   | 76   | 73   |
| 0.57 | 144  | 130  | 124  | 119  | 115  | 111  | 108  | 105  | 102  | 99   | 96   | 93   | 90   | 87   | 85   | 82   | 80   | 77   | 74   | 72   | 69   |
| 0.58 | 140  | 126  | 120  | 115  | 111  | 108  | 104  | 101  | 98   | 95   | 92   | 89   | 86   | 84   | 81   | 78   | 76   | 73   | 71   | 68   | 65   |
| 0.59 | 137  | 123  | 117  | 112  | 108  | 104  | 101  | 97   | 94   | 91   | 88   | 86   | 83   | 80   | 78   | 75   | 72   | 70   | 67   | 64   | 62   |
| 0.60 | 133  | 119  | 113  | 108  | 104  | 100  | 97   | 94   | 91   | 88   | 85   | 82   | 79   | 77   | 74   | 71   | 69   | 66   | 64   | 61   | 58   |
| 0.61 | 130  | 116  | 110  | 105  | 101  | 97   | 94   | 90   | 87   | 84   | 81   | 79   | 76   | 73   | 71   | 68   | 65   | 63   | 60   | 58   | 55   |
| 0.62 | 127  | 112  | 106  | 101  | 97   | 94   | 90   | 87   | 84   | 81   | 78   | 75   | 73   | 70   | 67   | 65   | 62   | 59   | 57   | 54   | 52   |
| 0.63 | 123  | 109  | 103  | 98   | 94   | 90   | 87   | 84   | 81   | 78   | 75   | 72   | 69   | 67   | 64   | 61   | 59   | 56   | 53   | 51   | 48   |
| 0.64 | 120  | 106  | 100  | 95   | 91   | 87   | 84   | 81   | 77   | 74   | 72   | 69   | 66   | 63   | 61   | 58   | 55   | 53   | 50   | 48   | 45   |
| 0.65 | 117  | 103  | 97   | 92   | 88   | 84   | 81   | 77   | 74   | 71   | 68   | 66   | 63   | 60   | 58   | 55   | 52   | 50   | 47   | 45   | 42   |
| 0.66 | 114  | 100  | 94   | 89   | 85   | 81   | 78   | 74   | 71   | 68   | 65   | 63   | 60   | 57   | 54   | 52   | 49   | 47   | 44   | 41   | 39   |
| 0.67 | 111  | 97   | 90   | 86   | 82   | 78   | 75   | 71   | 68   | 65   | 62   | 60   | 57   | 54   | 51   | 49   | 46   | 44   | 41   | 38   | 36   |
| 0.68 | 108  | 94   | 88   | 83   | 79   | 75   | 72   | 68   | 65   | 62   | 59   | 57   | 54   | 51   | 48   | 46   | 43   | 41   | 38   | 35   | 33   |
| 0.69 | 105  | 91   | 85   | 80   | 76   | 72   | 69   | 65   | 62   | 59   | 56   | 54   | 51   | 48   | 46   | 43   | 40   | 38   | 35   | 33   | 30   |
| 0.70 | 102  | 88   | 82   | 77   | 73   | 69   | 66   | 62   | 59   | 56   | 54   | 51   | 48   | 45   | 43   | 40   | 37   | 35   | 32   | 30   | 27   |
| 0.71 | 99   | 85   | 79   | 74   | 70   | 66   | 63   | 60   | 57   | 54   | 51   | 48   | 45   | 43   | 40   | 37   | 35   | 32   | 29   | 27   | 24   |
| 0.72 | 96   | 82   | 76   | 71   | 67   | 64   | 60   | 57   | 54   | 51   | 48   | 45   | 42   | 40   | 37   | 34   | 32   | 29   | 27   | 24   | 21   |
| 0.73 | 94   | 79   | 73   | 69   | 64   | 61   | 57   | 54   | 51   | 48   | 45   | 42   | 40   | 37   | 34   | 32   | 29   | 26   | 24   | 21   | 19   |
| 0.74 | 91   | 77   | 71   | 66   | 62   | 58   | 55   | 51   | 48   | 45   | 42   | 40   | 37   | 34   | 32   | 29   | 26   | 24   | 21   | 18   | 16   |
| 0.75 | 88   | 74   | 68   | 63   | 59   | 55   | 52   | 49   | 46   | 43   | 40   | 37   | 34   | 32   | 29   | 26   | 24   | 21   | 18   | 16   | 13   |
| 0.76 | 86   | 71   | 65   | 60   | 56   | 53   | 49   | 46   | 43   | 40   | 37   | 34   | 32   | 29   | 26   | 24   | 21   | 18   | 16   | 13   | 11   |
| 0.77 | 83   | 69   | 63   | 58   | 54   | 50   | 47   | 43   | 40   | 37   | 34   | 32   | 29   | 26   | 24   | 21   | 18   | 16   | 13   | 10   | 8    |
| 0.78 | 80   | 66   | 60   | 55   | 51   | 47   | 44   | 41   | 38   | 35   | 32   | 29   | 26   | 24   | 21   | 18   | 16   | 13   | 10   | 8    | 5    |
| 0.79 | 78   | 63   | 57   | 53   | 48   | 45   | 41   | 38   | 35   | 32   | 29   | 26   | 24   | 21   | 18   | 16   | 13   | 10   | 8    | 5    | 2.6  |
| 0.80 | 75   | 61   | 55   | 50   | 46   | 42   | 39   | 35   | 32   | 29   | 27   | 24   | 21   | 18   | 16   | 13   | 10   | 8    | 5    | 2.6  |      |
| 0.81 | 72   | 58   | 52   | 47   | 43   | 40   | 36   | 33   | 30   | 27   | 24   | 21   | 18   | 16   | 13   | 10   | 8    | 5    | 2.6  |      |      |
| 0.82 | 70   | 56   | 49   | 45   | 41   | 37   | 34   | 30   | 27   | 24   | 21   | 19   | 16   | 13   | 10   | 8    | 5    | 2.6  |      |      |      |
| 0.83 | 67   | 53   | 47   | 42   | 38   | 34   | 31   | 28   | 25   | 22   | 19   | 16   | 13   | 11   | 8    | 5    | 2.6  |      |      |      |      |
| 0.84 | 65   | 50   | 44   | 40   | 35   | 32   | 28   | 25   | 22   | 19   | 16   | 13   | 11   | 8    | 5    | 2.6  |      |      |      |      |      |
| 0.85 | 62   | 48   | 42   | 37   | 33   | 29   | 26   | 22   | 19   | 16   | 14   | 11   | 8    | 5    | 2.6  |      |      |      |      |      |      |





## EQUIPMENTS OF CAPACITOR BANK



Cubicle

Pilot lamp

PF Controller

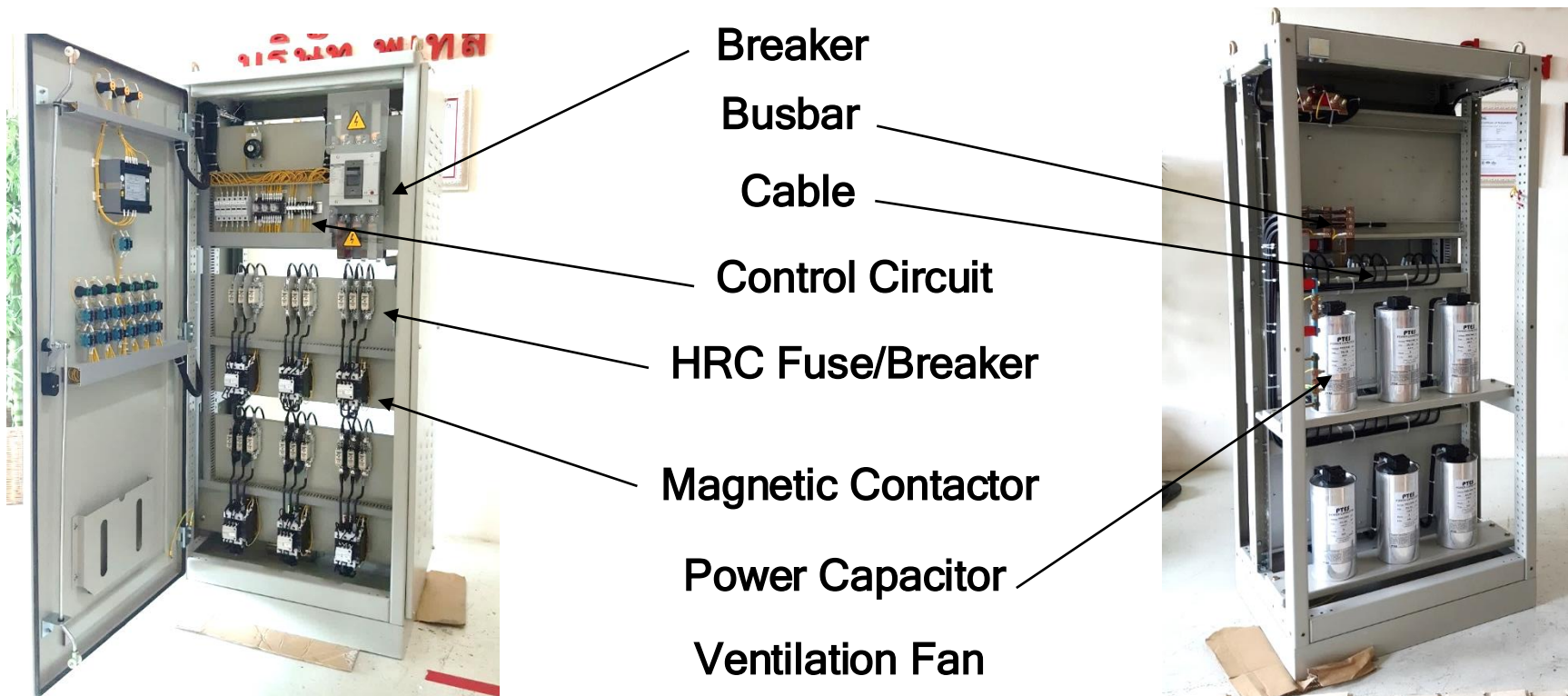
Selector switch

Pilot lamp

Push button switch On/Off

Name plate & Mimic

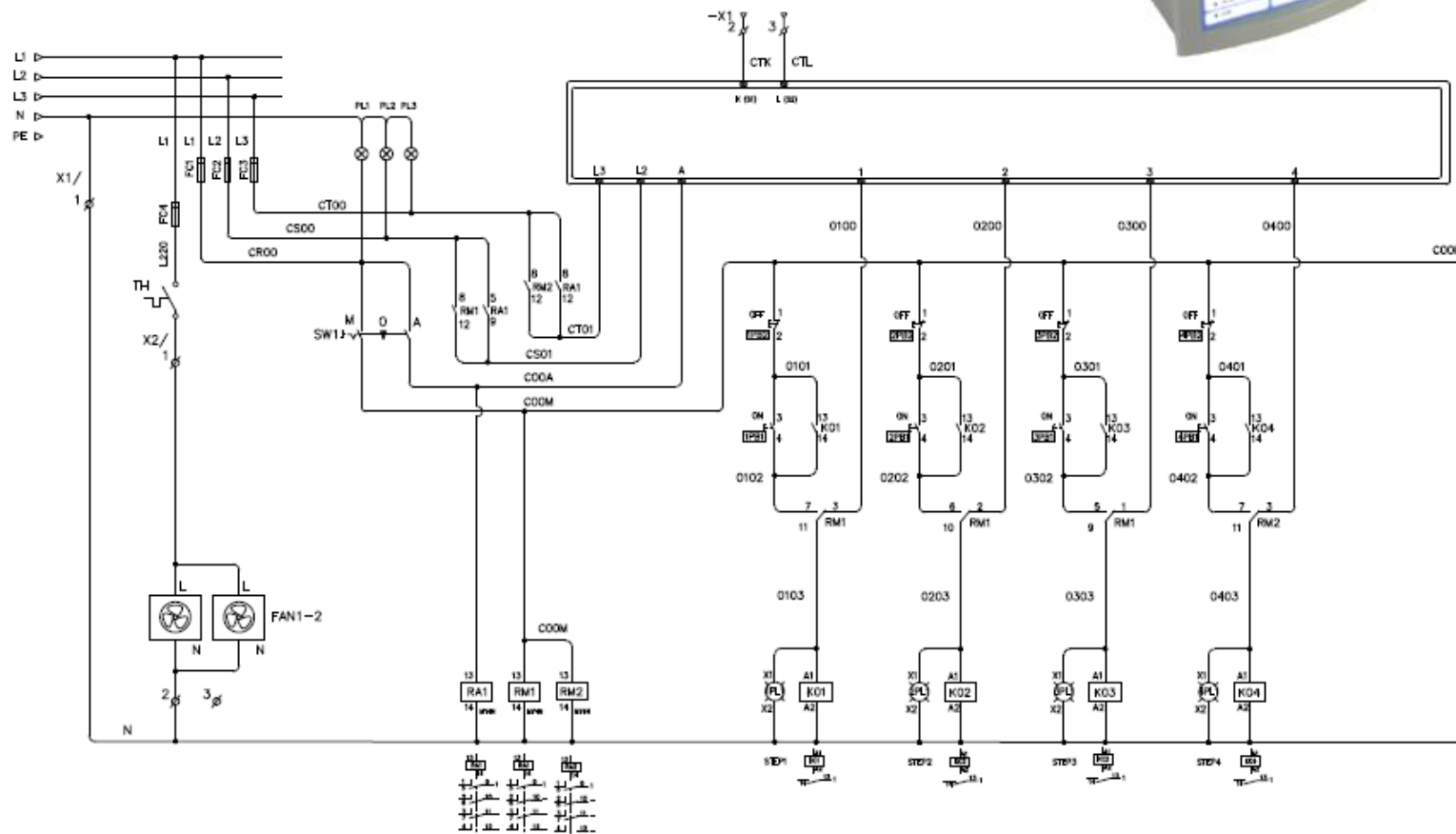
## EQUIPMENTS OF CAPACITOR BANK







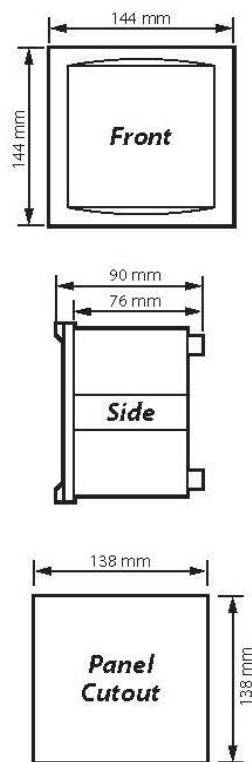
## วงจรควบคุมการทำงานของตัว Capacitor Bank



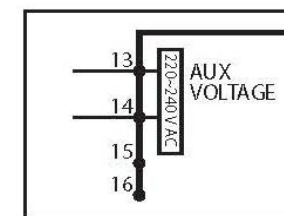
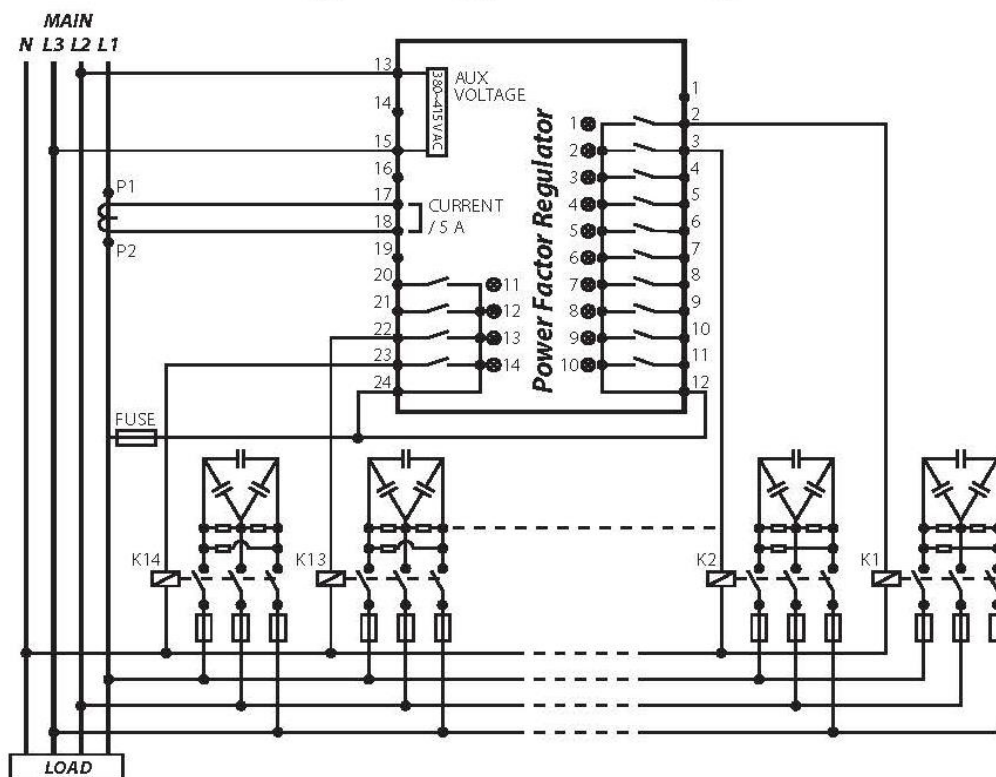


## วงจรควบคุมการทำงานของตู้ Capacitor Bank

Case Dimensions



Typical Application Diagram



For 220~240 V AC Model Only





**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION

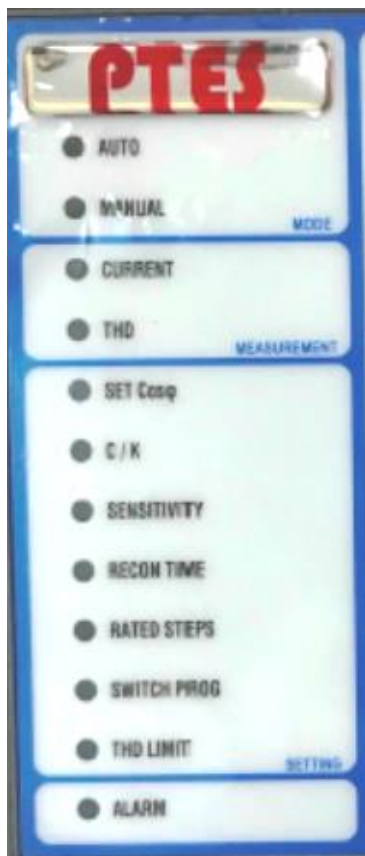


IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**

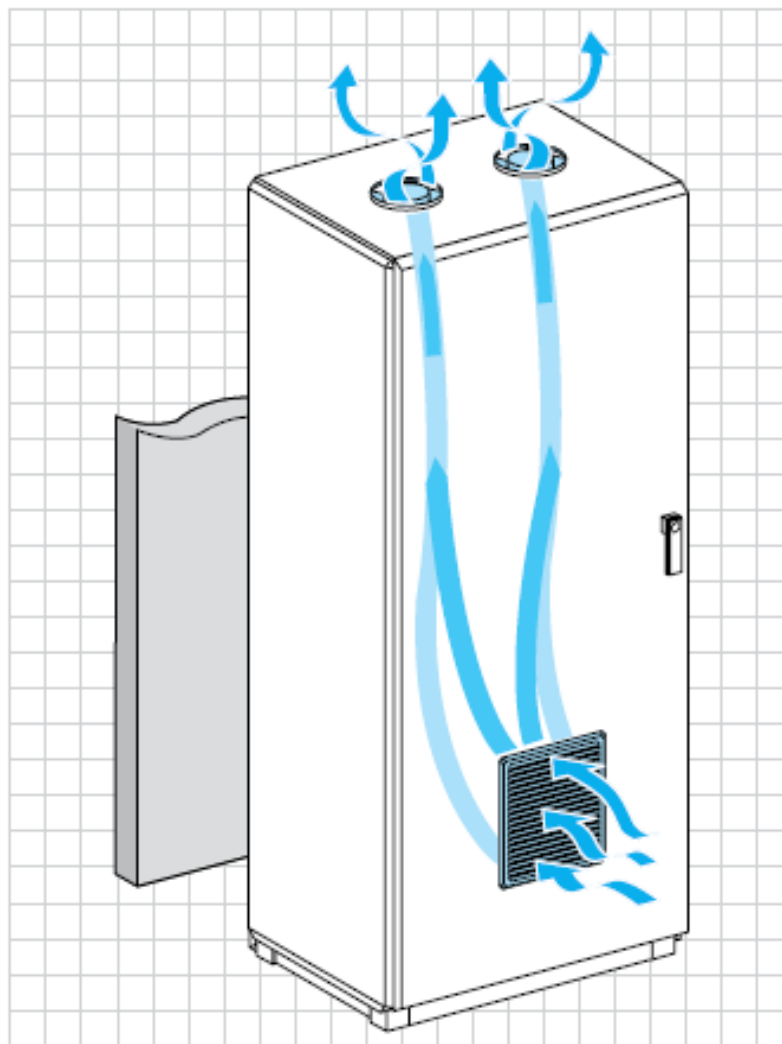
**PHYSIoT**  
PHYSICS & IoT ENGINEERING  
DUAL DEGREE PROGRAM

**AIoT**  
By IoT & Information Engineering  
School of Engineering **KMITL**

**PTES**  
CAPACITOR  
www.ptes.co.th



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



Orange Green  
Instruments



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





## Automatic power factor correction (APFC)



Tests according to IEC 61921 to validate the APFC design is conducted

- A. Type Tests
- B. Routine Test

### A. Verification of type tests

- Temperature rise test
- Dielectric properties
- Short circuit withstand strength
- Effectiveness of the protection circuit
- Clearance and creepage distances
- Mechanical operation
- Degree of protection

### B. Routine Test

- Inspection of assembly including inspection of wiring and if necessary electrical operation test
- Dielectric test
- Checking of protective measures and of the electrical continuity of protective circuit
- Verification of insulation resistance



## Capacitor Bank Inspection



### Low voltage capacitor unit Test

CUSTOMER : XXX

LOCATION : -

PANEL NAME : MDB PANEL

#### 1. SPECIFICATION OF EQUIPMENT IN CAPACITOR PANEL

|                             |                                                 |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|
| 1.1 Power Factor Controller | : XXX                                           |
| 1.2 FUSE                    | : 125 A                                         |
| 1.3 Magnetic Contactor      | : Step- 1,2,3,4,5,6,10,11,12 XXX Step-7,8,9 XXX |
| 1.4 Capacitor               | : XXX 50 KVAR 400 V 50Hz XXX                    |

#### 2. VISUAL INSPECTION

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 2.1 Power Factor Controller        | ✓ |
| 2.2 Capacitor Bank Visual          | ✓ |
| 2.3 MCCB check                     | ✓ |
| 2.4 Power Cable check (1x35 sqmm.) | ✓ |
| 2.5 Magnetic Contactor check       | ✓ |
| 2.6 Termination and Mounting check | ✓ |

#### 3. CAPACITOR TEST

| Step | Insulation Resistance Test<br>by 500 VDC (MΩ) |           |           | Capacitor (μF) |           |           | Calculated<br>Capacitor (μF) | Result |
|------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|------------------------------|--------|
|      | Phase A-G                                     | Phase B-G | Phase C-G | Phase A-B      | Phase B-C | Phase C-A |                              |        |
| 1    | 116                                           | 112       | 121       | 485            | 498       | 479       | 498                          | PASS   |
| 2    | 76                                            | 79        | 79        | 504            | 488       | 503       | 498                          | PASS   |
| 3    | 73                                            | 56        | 64        | 490            | 490       | 479       | 498                          | PASS   |
| 4    | 15                                            | 15        | 64        | 490            | 483       | 478       | 498                          | PASS   |
| 5    | 15                                            | 16        | 17        | 491            | 482       | 478       | 498                          | PASS   |
| 6    | 23                                            | 22        | 22        | 474            | 491       | 484       | 498                          | PASS   |
| 7    | 1.5                                           | 1.6       | 1.7       | 474            | 486       | 499       | 498                          | PASS   |
| 8    | 5.2                                           | 6.3       | 6.4       | 544            | 501       | 482       | 498                          | PASS   |
| 9    | 64                                            | 64        | 63        | 489            | 491       | 488       | 498                          | PASS   |
| 10   | 47                                            | 49        | 47        | 492            | 482       | 487       | 498                          | PASS   |
| 11   | 55                                            | 54        | 56        | 527            | 489       | 475       | 498                          | PASS   |
| 12   | 15                                            | 15        | 15        | 481            | 482       | 478       | 498                          | PASS   |

#### 4. REFERENCE EQUATION

$$C = \frac{KVAR \times 10^9}{3 \times 2 \times \pi \times f \times V^2} = \frac{331.74}{497.61} \mu F$$
$$C_{measurement} = 1.5 \times C = 497.61 \mu F$$

$$\text{Tolerance} = \frac{398 - 547}{547} \mu F$$

L/V capacitor recommendation standard. Referring to IEC631-1,2 : -5% , +10% BASE ON PTES : -20% , +10%  
Insulation resistance : Standard IEC must don't low 1 M-Ohm

#### 5. RESULT OF TESTING : Normal

#### 6. COMMENT :

## Judgment of Capacitor Defect or Not

### 1) Capacitor (uF) measurement

▶ High voltage capacitor : allowable tolerance -5% ~ 10%

▶ Low voltage Capacitor :

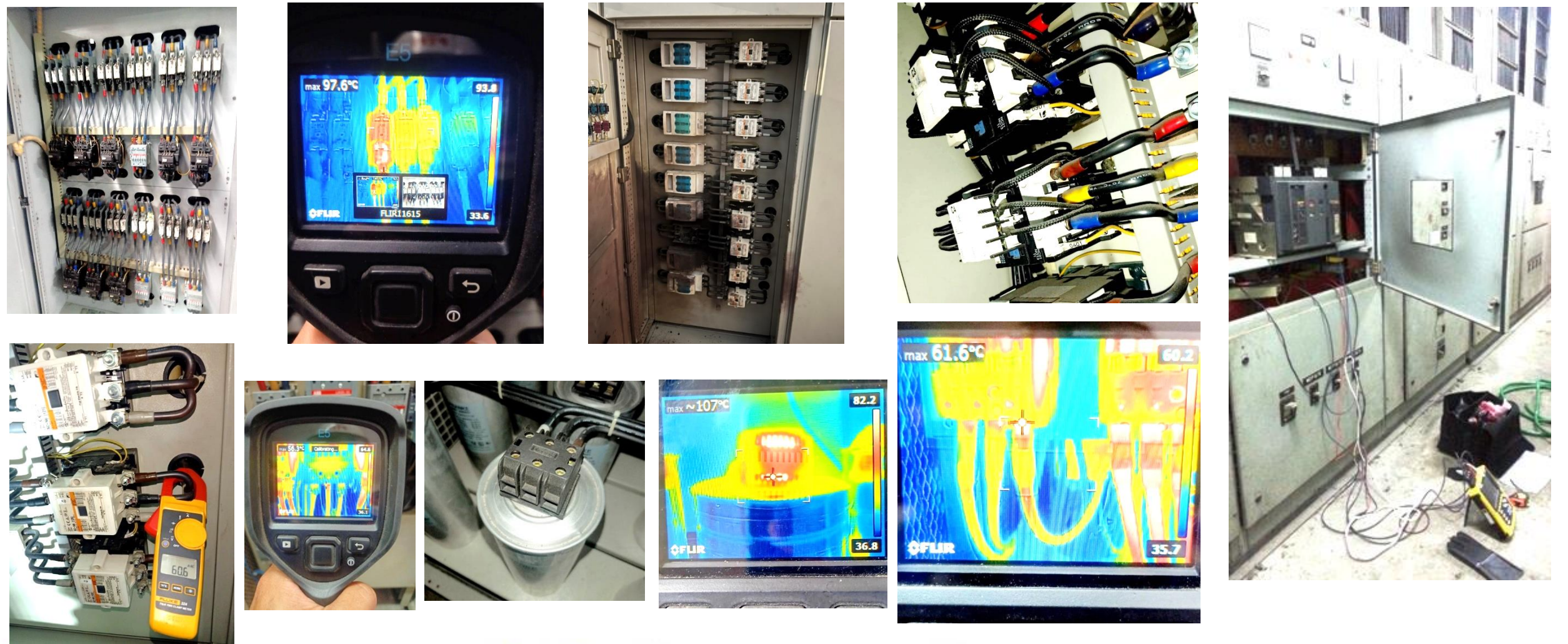
- less than 100kvar allowable tolerance -5% ~ 10%

- over 100kvar allowable tolerance -5% ~ 5%

### 2) Rated current (A) measurement

$$\text{Capacitor current [A]} = \text{Rated current [A]} \times \frac{\text{Actual input voltage [V]}}{\text{Capacitor rated voltage [V]}}$$









# Smart Capacitor



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



# Static Var Generator (SVG) Active Power Filter (APF)



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

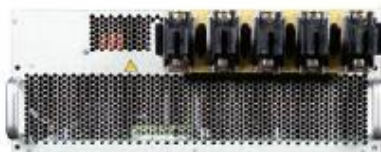




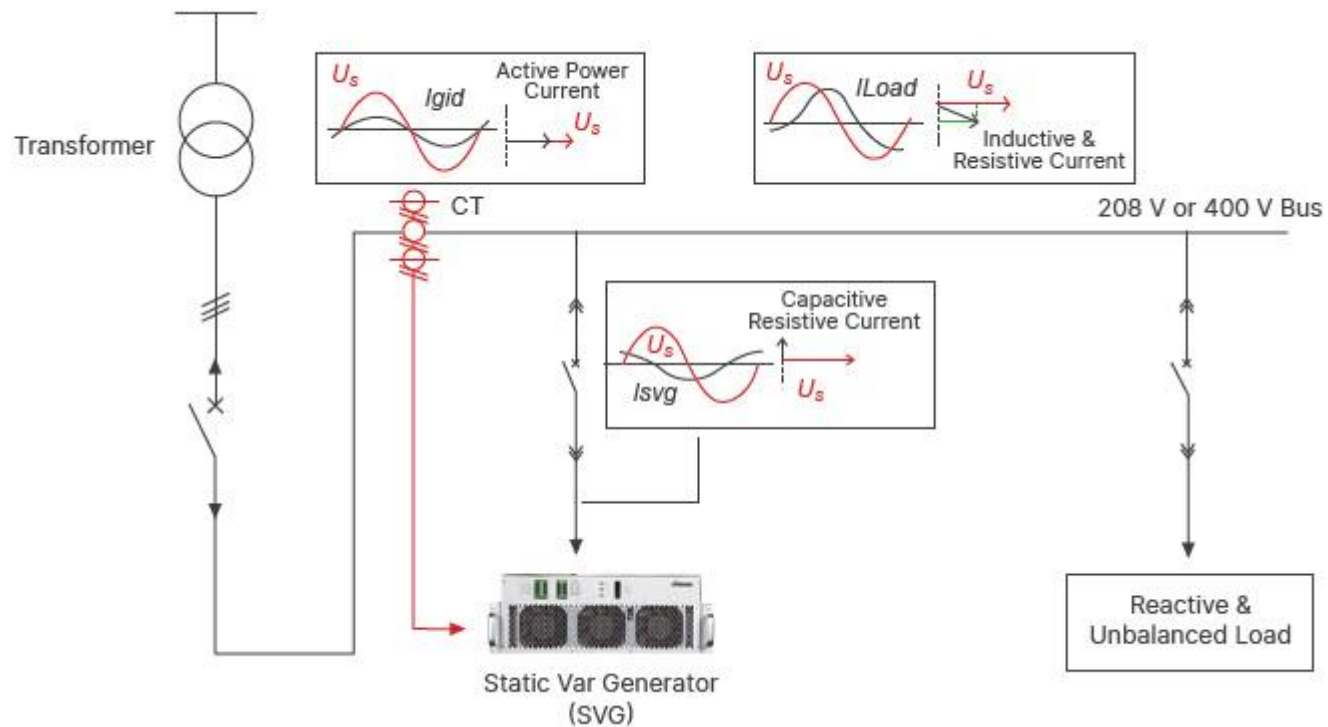
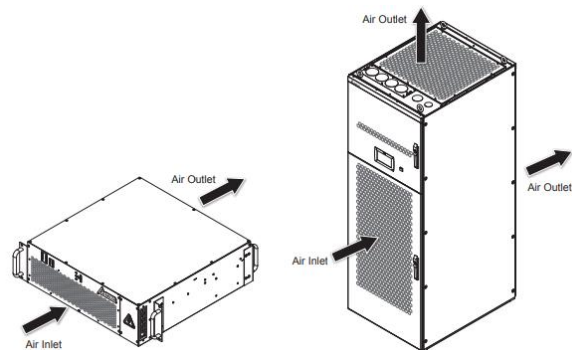
SVG cabinet



Mixed fixed SVG module



Drawer type SVG module





Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





# HARMONIC in POWER SYSTEM

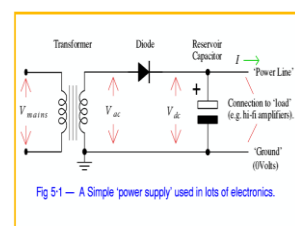
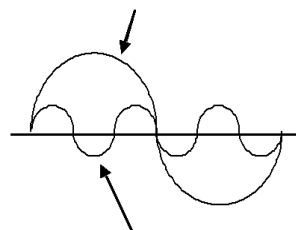
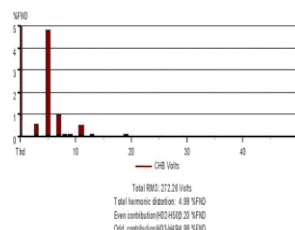
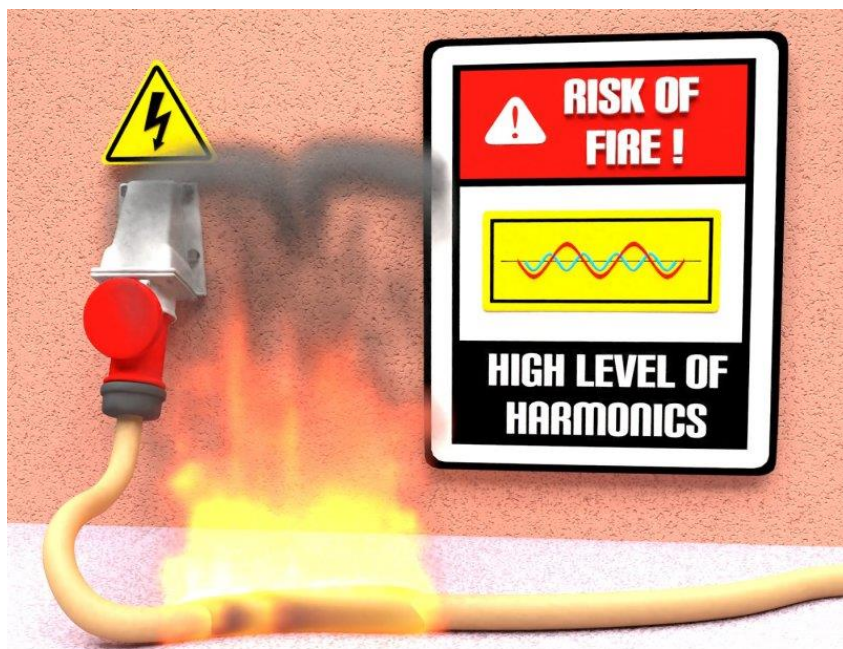


Fig 5-1 — A Simple 'power supply' used in lots of electronics.

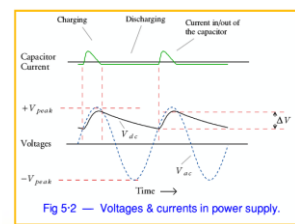
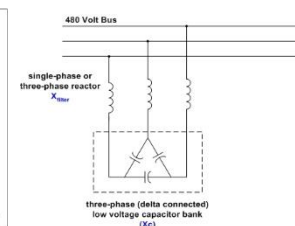
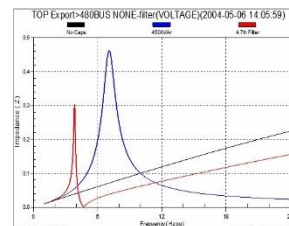
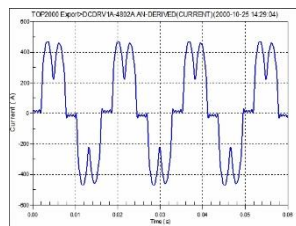


Fig 5-2 — Voltages & currents in power supply.

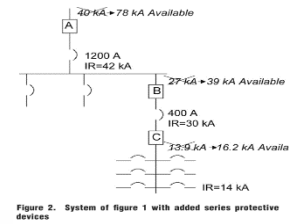
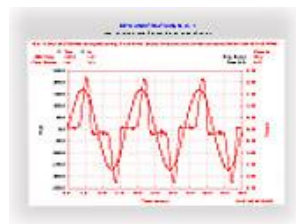
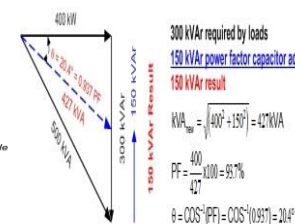


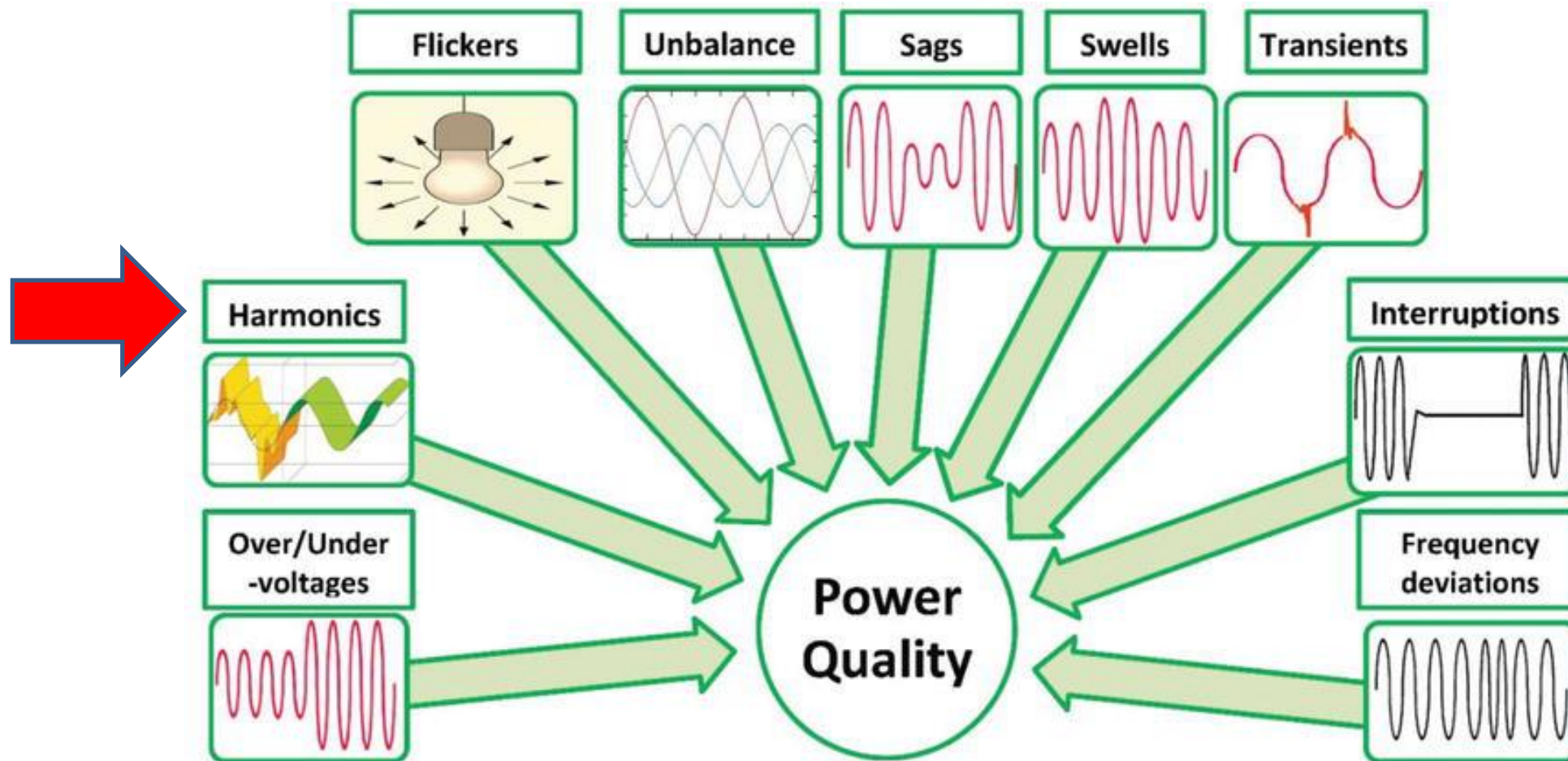
Figure 2. System of Figure 1 with added series protective devices



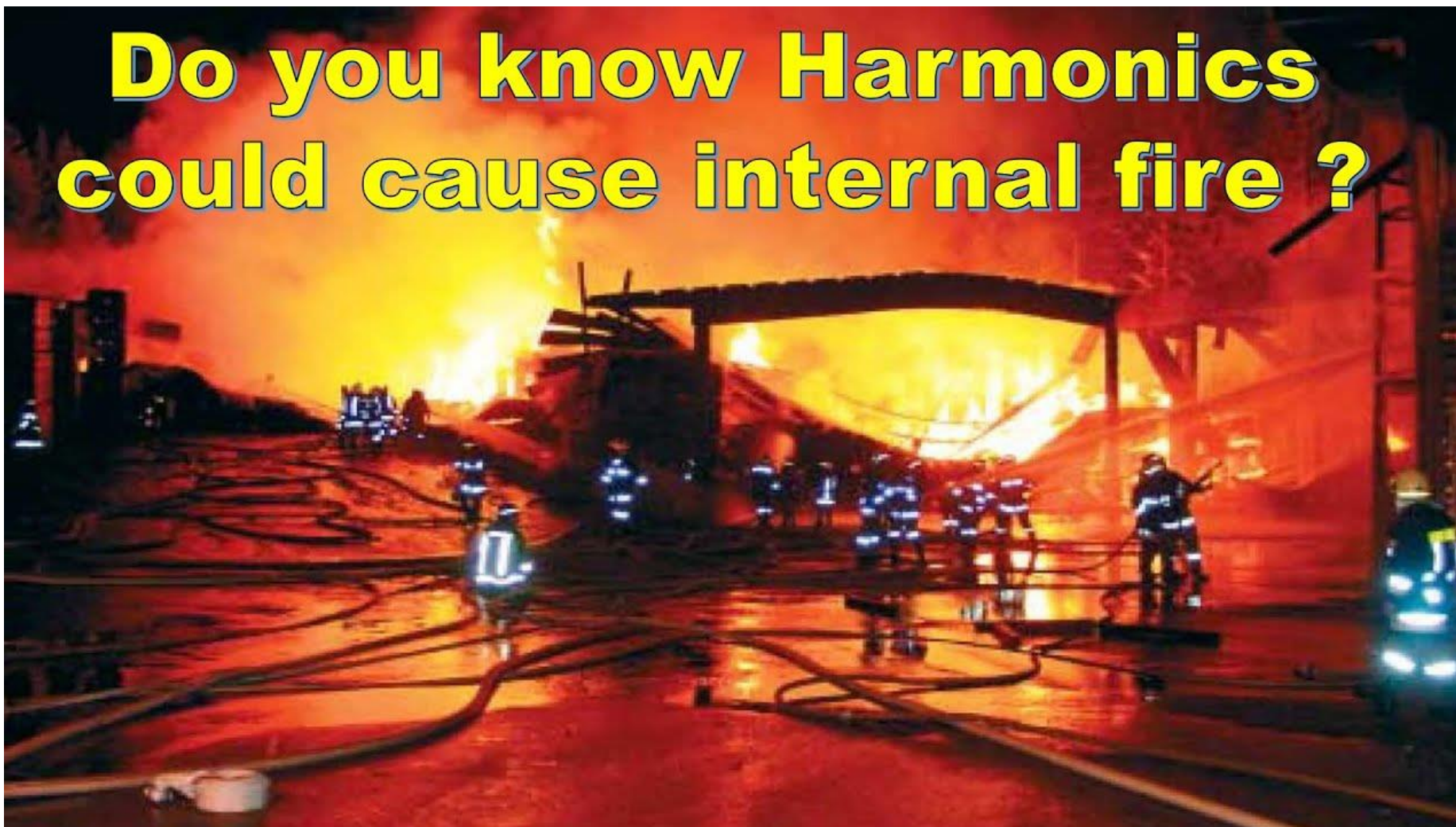




# Power Quality Problems







**Do you know Harmonics  
could cause internal fire ?**



# Harmonic Definition



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





ฮาร์มอนิก (Harmonic) - ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) ตัวอย่างเช่น ส่วนประกอบที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่หลักมูลจะเรียกว่า ฮาร์มอนิกที่ 2 (Second Harmonic)





ฮาร์มอนิก (Harmonic) - ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ของสัญญาณหรือปริมาณ เป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) ตัวอย่างเช่น ส่วนประกอบที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่หลักมูลจะเรียกว่า ฮาร์มอนิกที่ 2 (Second Harmonic)

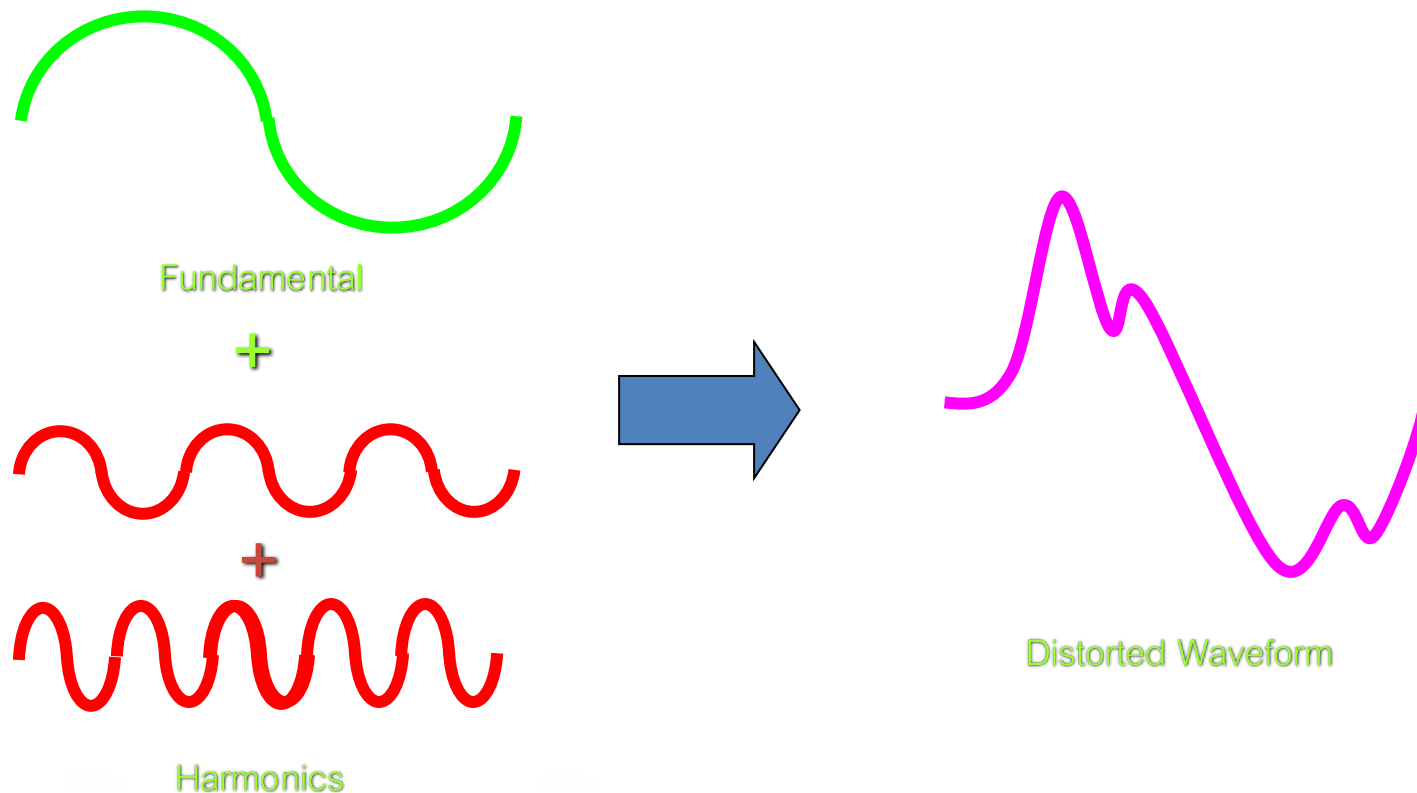
ฮาร์มอนิก ลำดับที่ 2 คือ  $2 \times 50\text{Hz} = 100\text{Hz}$

ฮาร์มอนิก ลำดับที่ 3 คือ  $3 \times 50\text{Hz} = 150\text{Hz}$

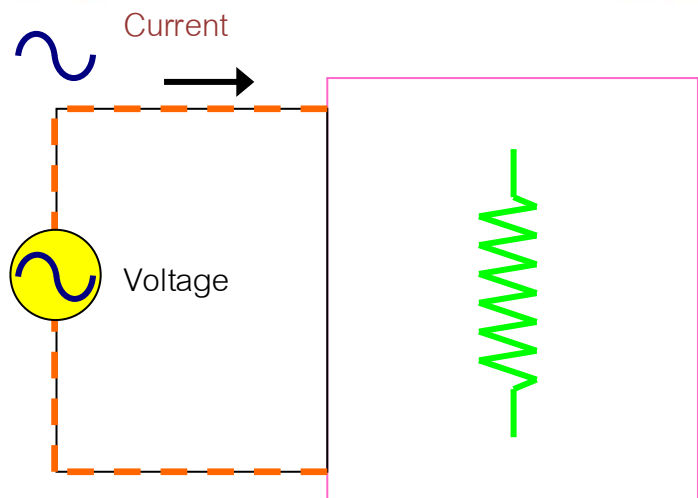
ฮาร์มอนิก ลำดับที่ 4 คือ  $4 \times 50\text{Hz} = 200\text{Hz}$

ฮาร์มอนิก ลำดับที่ 5 คือ  $5 \times 50\text{Hz} = 250\text{Hz}$

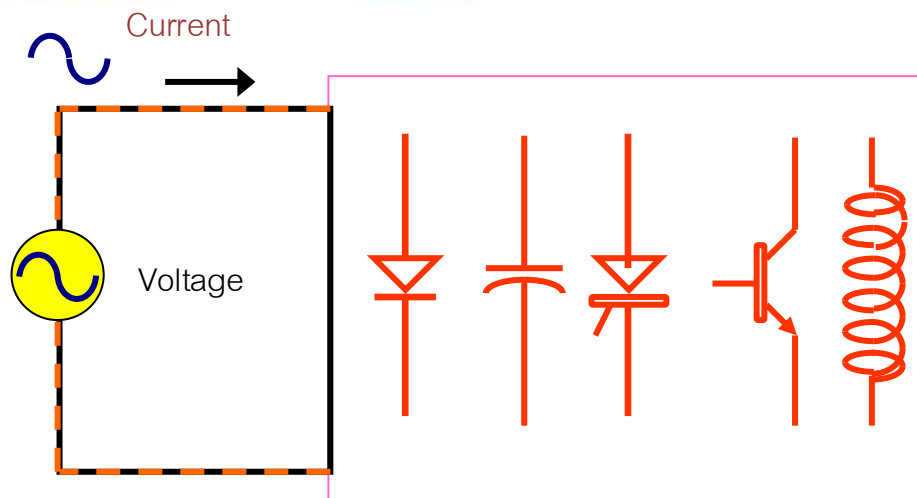
ฮาร์มอนิก ลำดับที่ n คือ  $n \times 50\text{Hz} = 50n\text{Hz}$



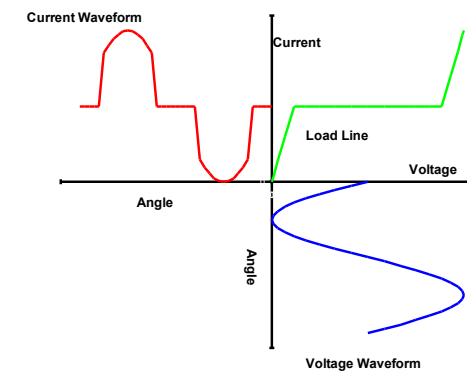
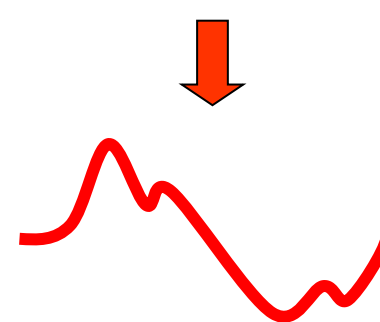
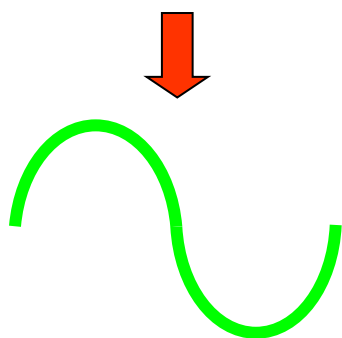
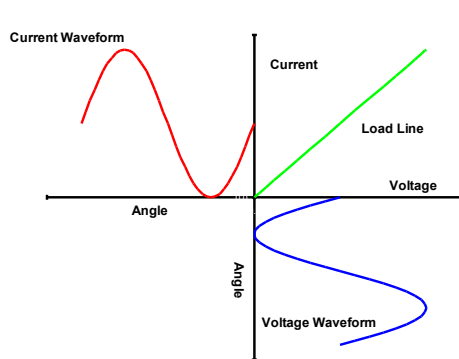




**Linear Load**



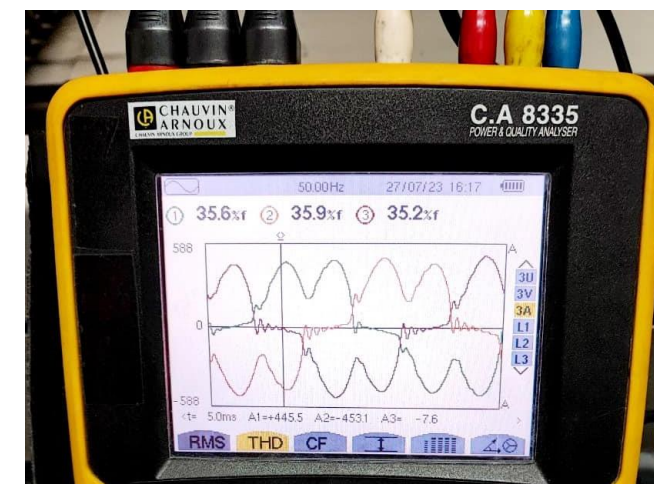
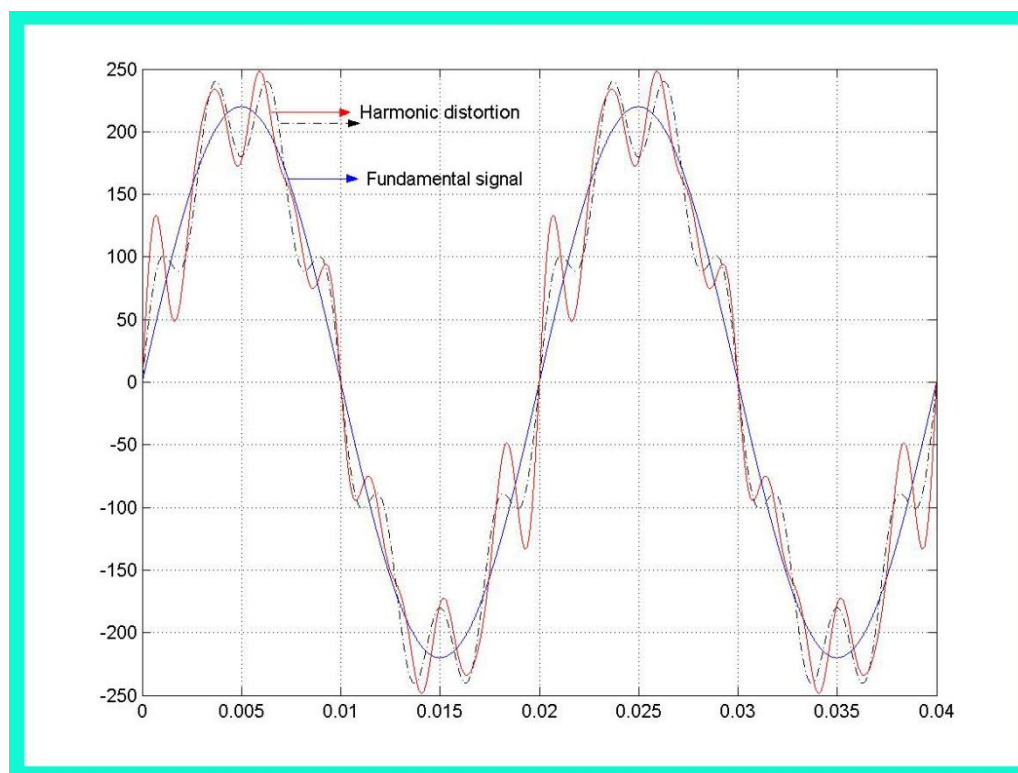
**Non-Linear Load**





## Distortion Signal Generate by Harmonic Source

$$I(t) = I_1 \sin(\omega t) + I_5 \sin(5\omega t) + I_7 \sin(7\omega t) + I_9 \sin(9\omega t) + I_{11} \sin(11\omega t)$$



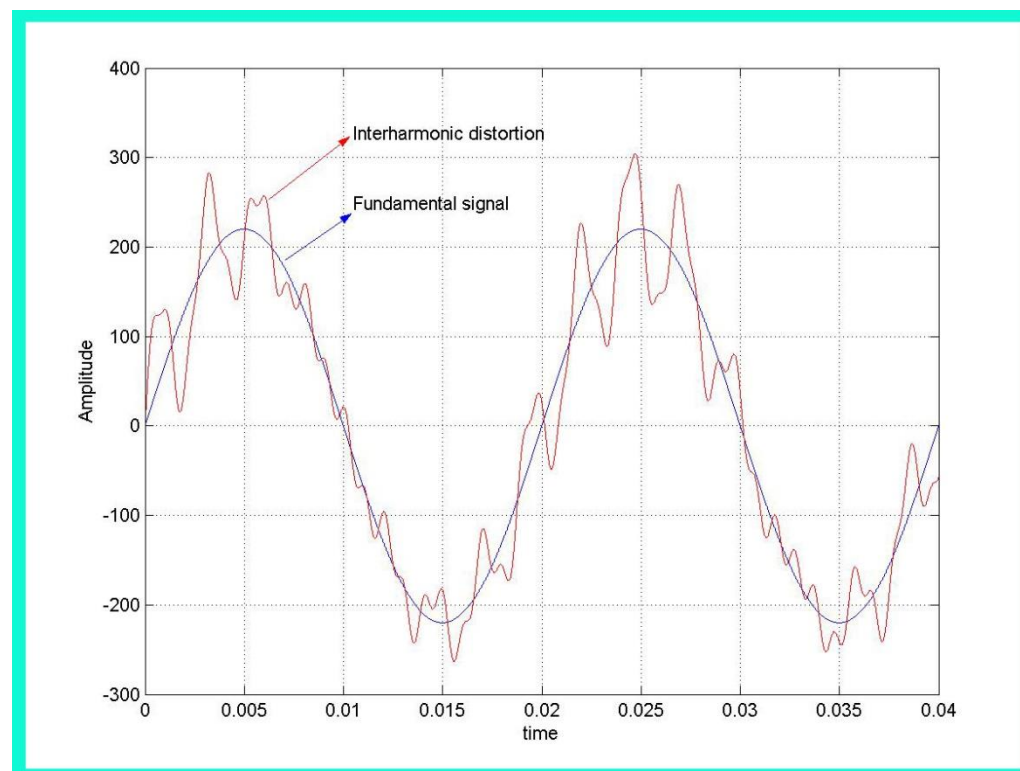




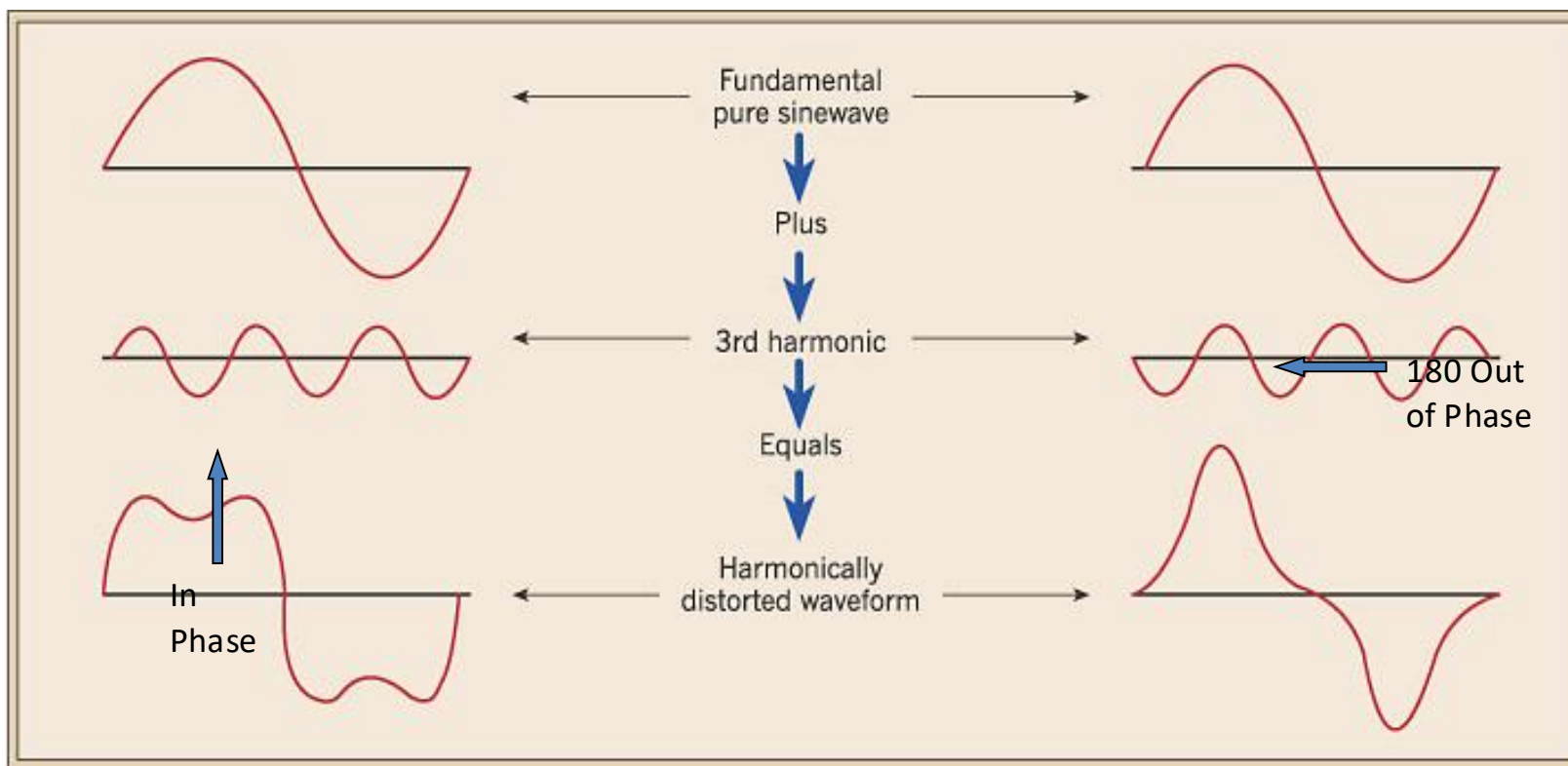
## Distortion Signal Generate by Harmonic Source

### Inter Harmonic

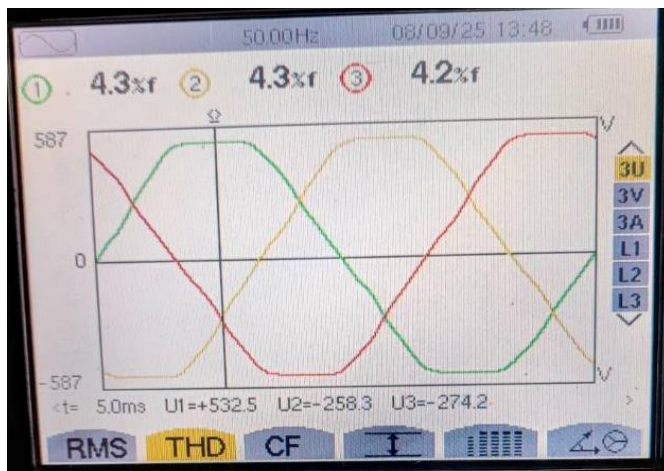
$$I(t) = I_1 \sin(\omega t) + I_{2.3} \sin(2.3\omega t) + I_{5.9} \sin(5.9\omega t) + \dots$$



## Effect of harmonics on waveform



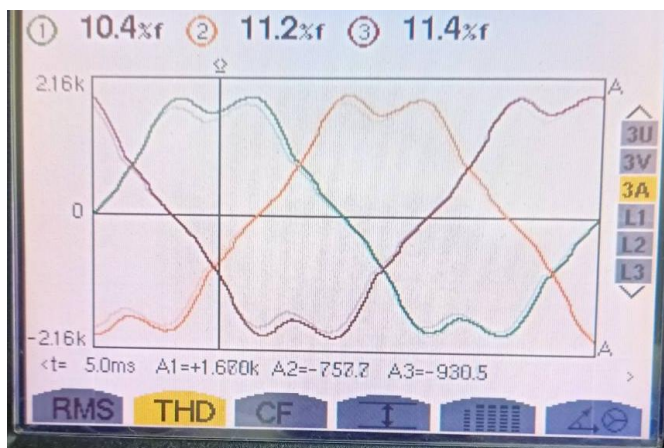




THD (Voltage)

=

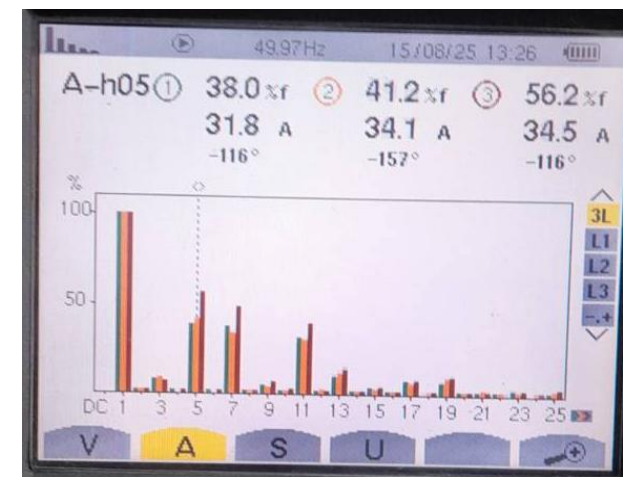
$$\frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots}}{V_1}$$



THD (Current)

=

$$\frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{I_1}$$



Orange Green Instruments



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



# Harmonic Sources



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





# HARMONIC SOURCES

- Electronic Base
- Magnetic Core Base
- ARC/GAS Discharge Base





## HARMONIC SOURCES

- Electronic Base
- Magnetic Core Base
- ARC/GAS Discharge Base

### Electronic Base

#### Single Phase Equipments

- Electronic Ballasts
- Computer System
- SMPS Equipments

#### Three Phase Power Electronic Equipment

- Power Rectifier
- Static Power Converter : SPC
- Adjustable Speed Drive : ASD
- Programmable Logic Controller : PLC

### Magnetic Core Base

- Transformer
- Motor
- Magnetic Core Ballast

### ARC/GAS Discharge Base

- Arc Furnace
- Induction Furnace
- Arc / Spot Welding

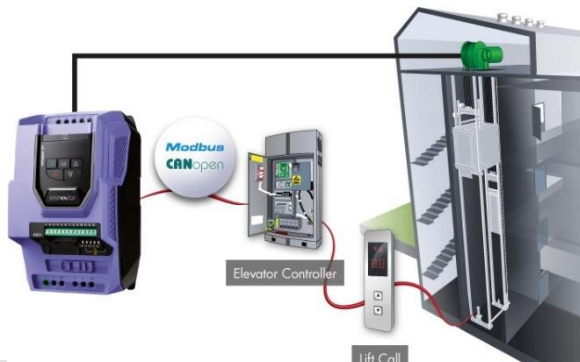
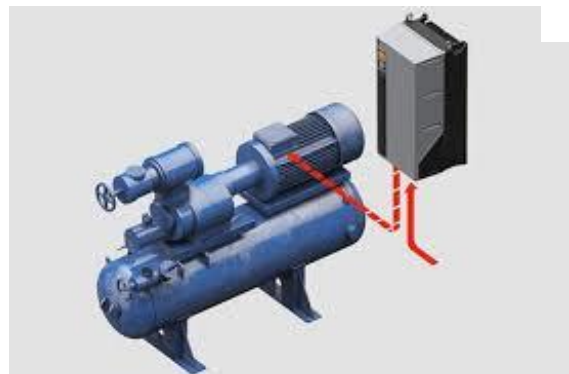




# HARMONIC SOURCES

- Electronic Base
  - Single Phase
    - Electronic Ballasts
    - Computer System
    - SMPS Equipments





INVERTER







## Harmonic in Electrical System of Building





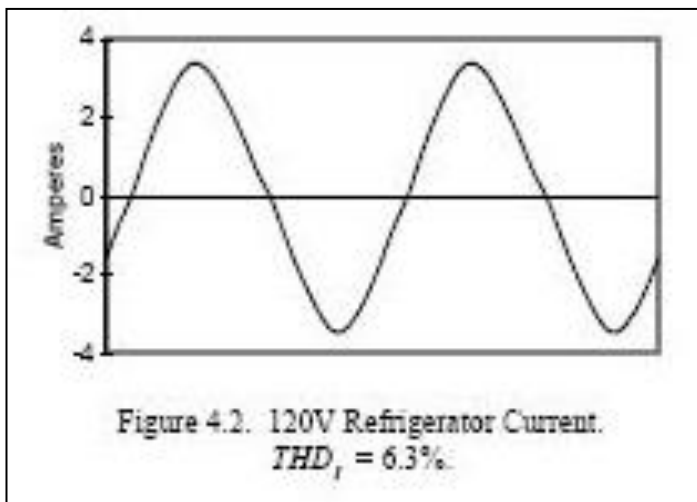
Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

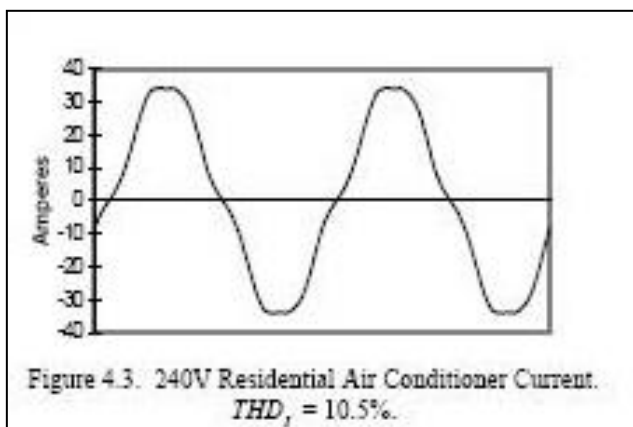




Spectral Data for Figure 4.2,  
120V Refrigerator Current

| Harmonic | Mag - % | Ang - Sine Deg. | Harmonic | Mag - % | Ang - Sine Deg. |
|----------|---------|-----------------|----------|---------|-----------------|
| 1        | 100.00  | -31             | 2        | 3.50    | -48             |
| 3        | 5.10    | 101             | 4        | 0.40    | 98              |
| 5        | 0.50    | 124             | 6        | 0.30    | 152             |
| 7        | 1.00    | 10              | 8        | 0.20    | 55              |
| 9        | 0.40    | -57             | 10       |         |                 |
| 11       | 0.20    | -103            | 12       |         |                 |
| 13       | 0.20    | -180            | 14       |         |                 |
| 15       | 0.10    | 129             | 16       |         |                 |
| 17       |         |                 | 18       |         |                 |
| 19       |         |                 | 20       |         |                 |
| 21       |         |                 | 22       |         |                 |
| 23       |         |                 | 24       |         |                 |
| 25       |         |                 | 26       |         |                 |
| 27       |         |                 | 28       |         |                 |
| 29       |         |                 | 30       |         |                 |
| 31       |         |                 | 32       |         |                 |
| 33       |         |                 | 34       |         |                 |
| 35       |         |                 | 36       |         |                 |
| 37       |         |                 | 38       |         |                 |
| 39       |         |                 | 40       |         |                 |
| 41       |         |                 | 42       |         |                 |
| 43       |         |                 | 44       |         |                 |
| 45       |         |                 | 46       |         |                 |
| 47       |         |                 | 48       |         |                 |
| 49       |         |                 | 50       |         |                 |

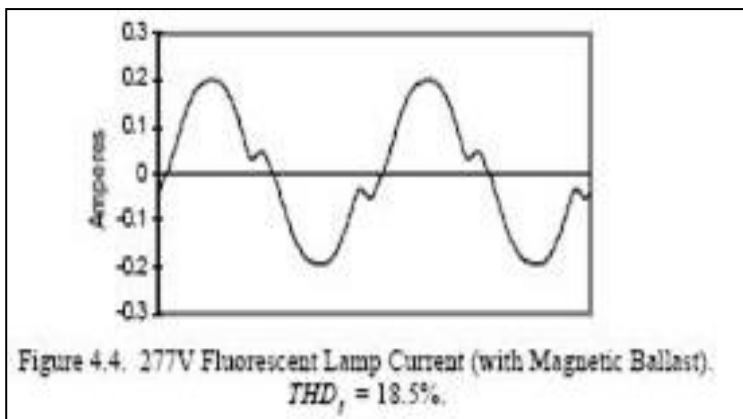
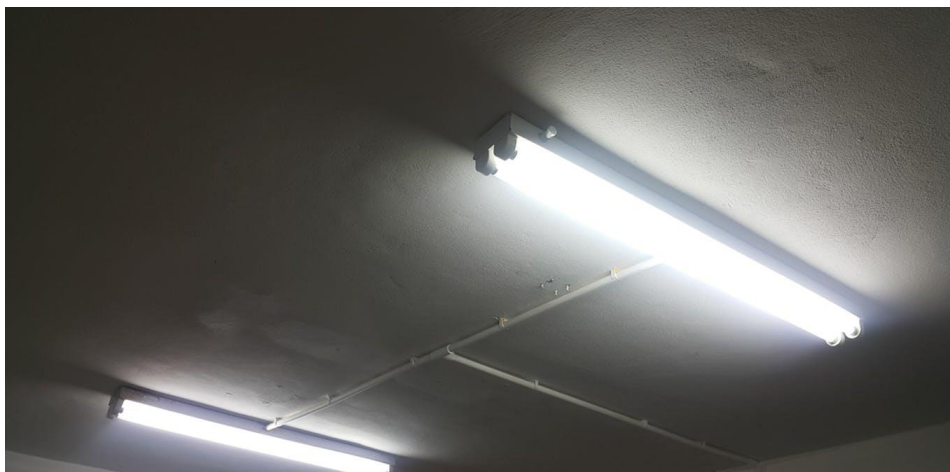




Spectral Data for Figure 4.3,  
240V Residential Air Conditioner Current

| Harmonic | Mag - % | Ang - Sine Deg. | Harmonic | Mag - % | Ang - Sine Deg. |
|----------|---------|-----------------|----------|---------|-----------------|
| 1        | 100.00  | -23             | 2        |         |                 |
| 3        | 8.00    | 110             | 4        |         |                 |
| 5        | 6.80    | 58              | 6        |         |                 |
| 7        | 0.50    | 165             | 8        |         |                 |
| 9        | 0.60    | 82              | 10       |         |                 |
| 11       | 0.30    | 157             | 12       |         |                 |
| 13       |         |                 | 14       |         |                 |
| 15       |         |                 | 16       |         |                 |
| 17       | 0.20    | 87              | 18       |         |                 |
| 19       |         |                 | 20       |         |                 |
| 21       |         |                 | 22       |         |                 |
| 23       |         |                 | 24       |         |                 |
| 25       |         |                 | 26       |         |                 |
| 27       |         |                 | 28       |         |                 |
| 29       |         |                 | 30       |         |                 |
| 31       |         |                 | 32       |         |                 |
| 33       |         |                 | 34       |         |                 |
| 35       |         |                 | 36       |         |                 |
| 37       |         |                 | 38       |         |                 |
| 39       |         |                 | 40       |         |                 |
| 41       |         |                 | 42       |         |                 |
| 43       |         |                 | 44       |         |                 |
| 45       |         |                 | 46       |         |                 |
| 47       |         |                 | 48       |         |                 |
| 49       |         |                 | 50       |         |                 |





Spectral Data for Figure 4.4,  
277V Fluorescent Lamp Current (with Magnetic Ballast)

| Harmonic | Mag - % | Ang - Sine Deg. | Harmonic | Mag - % | Ang - Sine Deg. |
|----------|---------|-----------------|----------|---------|-----------------|
| 1        | 100.00  | -2              | 2        | 2.00    | -117            |
| 3        | 15.80   | -150            | 4        | 0.40    | 168             |
| 5        | 8.60    | -128            | 6        | 0.30    | 47              |
| 7        | 2.90    | -73             | 8        | 0.10    | 8               |
| 9        | 2.00    | -32             | 10       |         |                 |
| 11       | 1.40    | 6               | 12       |         |                 |
| 13       | 0.80    | 29              | 14       | 0.20    | -49             |
| 15       | 0.40    | 32              | 16       |         |                 |
| 17       | 0.20    | -17             | 18       |         |                 |
| 19       | 0.50    | -56             | 20       |         |                 |
| 21       | 0.40    | -49             | 22       | 0.20    | -133            |
| 23       | 0.20    | -65             | 24       |         |                 |
| 25       |         |                 | 26       |         |                 |
| 27       | 0.10    | 162             | 28       |         |                 |
| 29       |         |                 | 30       |         |                 |
| 31       |         |                 | 32       |         |                 |
| 33       |         |                 | 34       | 0.10    | -166            |
| 35       | 0.10    | -42             | 36       |         |                 |
| 37       |         |                 | 38       |         |                 |
| 39       |         |                 | 40       | 0.10    | 149             |
| 41       |         |                 | 42       |         |                 |
| 43       |         |                 | 44       |         |                 |
| 45       |         |                 | 46       |         |                 |
| 47       | 0.10    | -137            | 48       | 0.20    | 25              |
| 49       |         |                 | 50       |         |                 |



## Harmonic Current from Electrical Equipments

| Equipment                                | Range of THDA (%) |               |
|------------------------------------------|-------------------|---------------|
|                                          | Idle              | Operating     |
| 1. Electronic Ballast with Tubular F.L.  | -                 | 107.5 - 155.4 |
| 2. Compact F.L.(with Electronic Ballast) | -                 | 134.8 - 152.6 |
| 3. Micro-computer                        | 129.7 - 164.2     | 164.5         |
| 4. Color T.V.                            | -                 | 129.3 - 155.6 |
| 5. Copying Machine                       | 47.2 - 129.0      | 14.7 - 17.1   |
| 6. Fax Machine                           | 125.3 - 133.5     | 145.8 - 168.9 |
| 7. Laser Printer                         | 112.6 - 179.3     | 5.3 - 9.4     |
| 8. Dot Type Printer                      | 140.8 - 178.8     | -             |
| 9. Electronic Typewriter                 | 20.6 - 43.3       | -             |





Application of Rectifier in Welding

Application of Position Control Motor

### Position Control

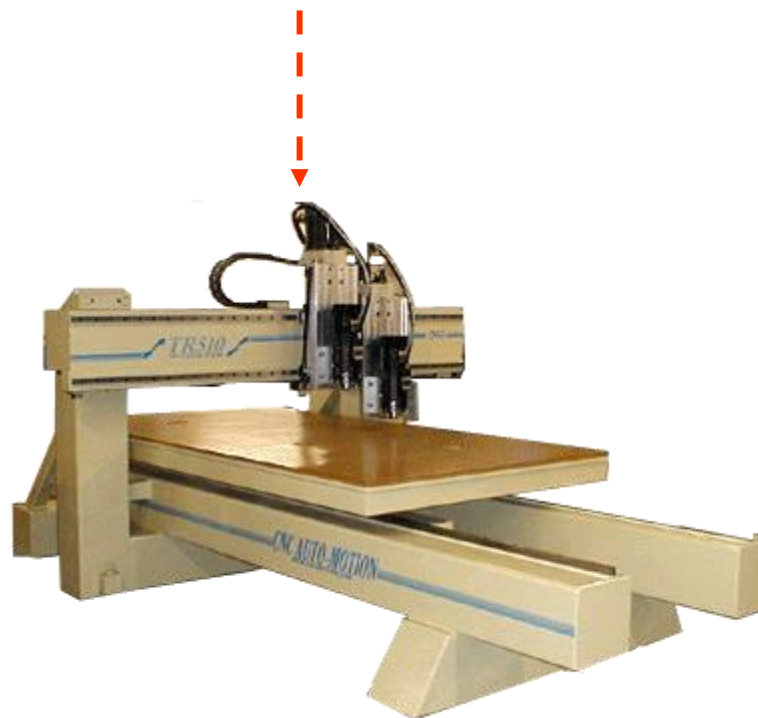
Include

- Rectifier Circuit
- Pulse Width Modulation
- Speed Control

### Welding

Include

- Rectifier Circuit





← - - - Computer Numerical Control : CNC

### CNC

Include

- Rectifier Circuit
- Pulse Width Modulation





# HARMONIC SOURCES

- Electronic Base
  - Three Phase
    - Power Rectifier
    - Static Power Converter : SPC
    - Adjustable Speed Drive : ASD
    - Programmable Logic Controller : PLC



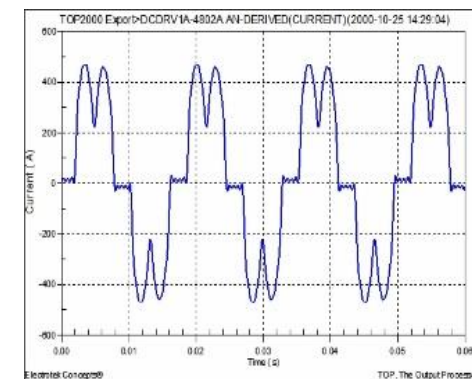
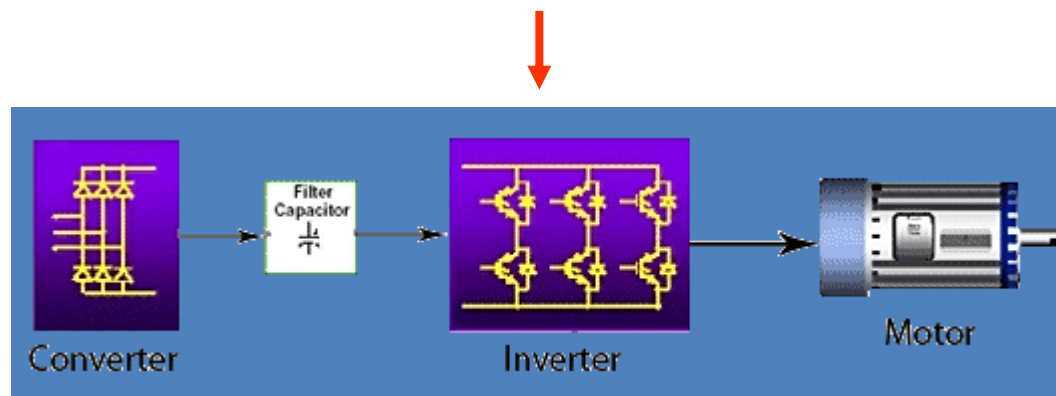


Dr. Suwilai Phumppo Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



## Variable Speed Drive (Pulse Width Modulated (PWM) Drive)

# VSD





## Conveyor



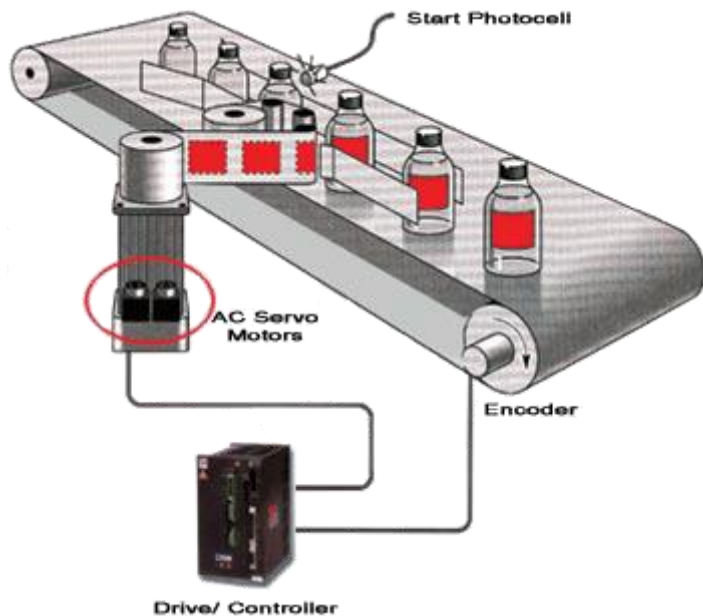
Speed Control Roller

Type

Speed Control Motor (Harmonic Source)

Gear Adjust Speed (not generate harmonic)



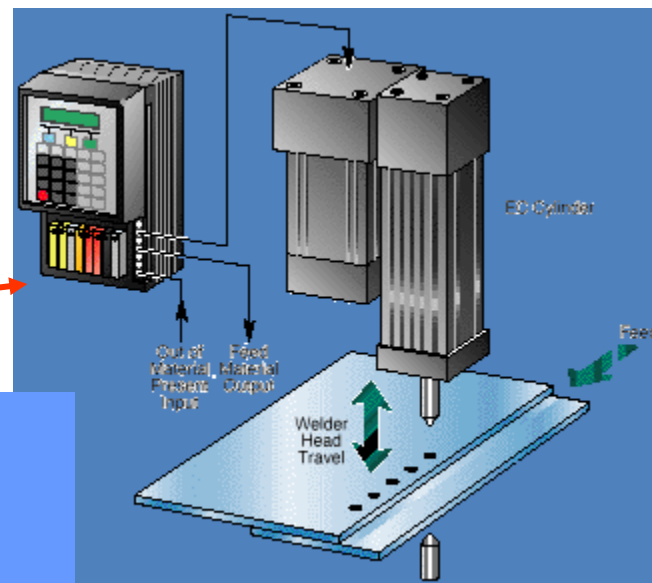


## Application of Speed Control Motor

### Servo Driver (Harmonic Source)

Include

- Rectifier Circuit
- Pulse Width Modulation





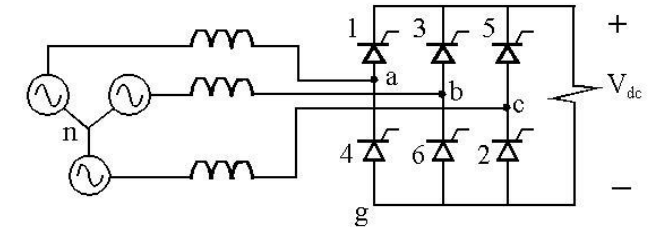
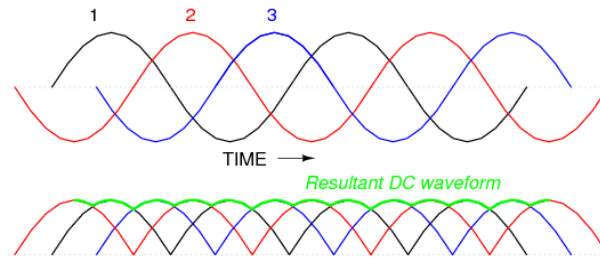
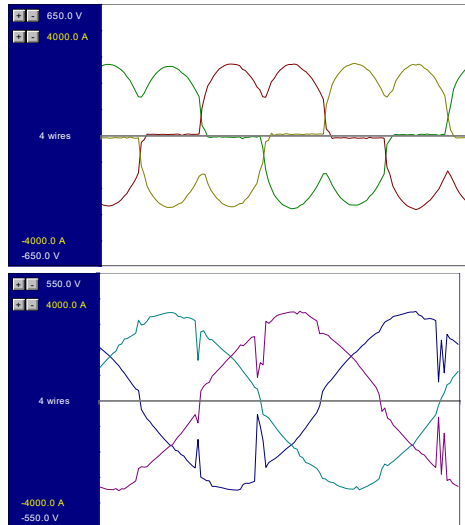
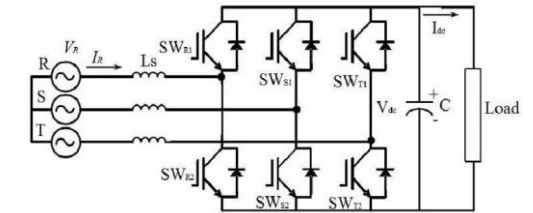
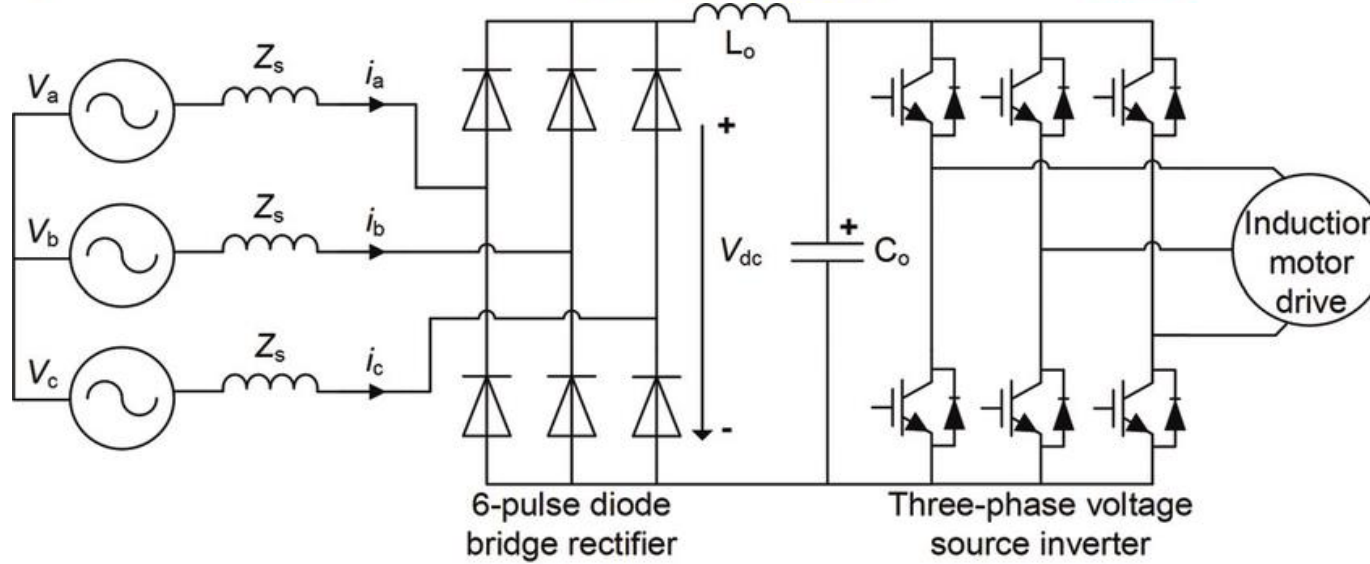
← — — — — Mega Drive in Strip Mill

Paper Machine



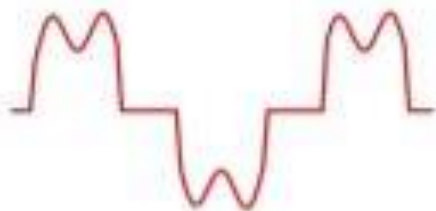
- Strip Mill  
Include
- Cyclo-Converter
  - PWM
  - Speed Control
  - Rectifier
- Paper Machine  
Include
- Rectifier Circuit
  - PWM



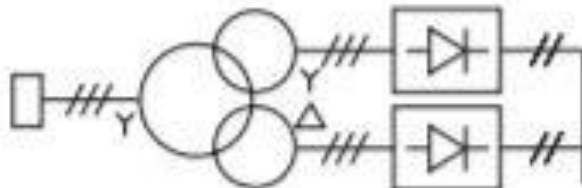




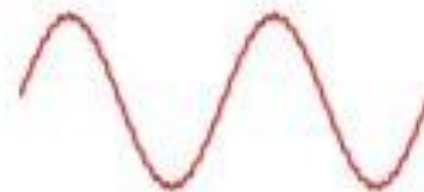
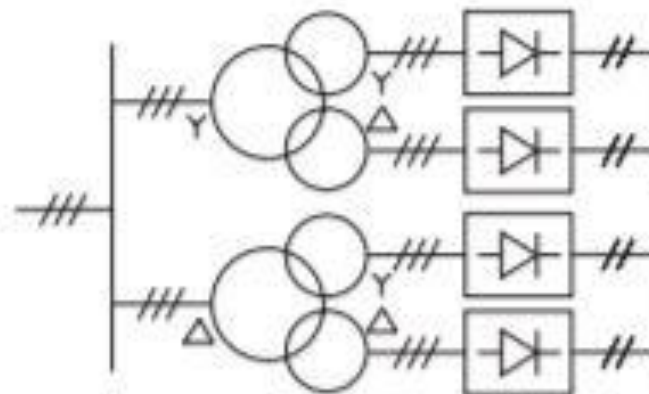
6-pulse rectifier



12-pulse rectifier



24-pulse rectifier







## Expected Harmonics

| Source | Typical Harmonics* |
|--------|--------------------|
|--------|--------------------|

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 6 Pulse Drive/Rectifier | 5, 7, 11, 13, 17, 19... |
|-------------------------|-------------------------|

|                          |                   |
|--------------------------|-------------------|
| 12 Pulse Drive/Rectifier | 11, 13, 23, 25... |
|--------------------------|-------------------|

|                |                   |
|----------------|-------------------|
| 18 Pulse Drive | 17, 19, 35, 37... |
|----------------|-------------------|

|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| Switch-Mode Power Supply | 3, 5, 7, 9, 11, 13... |
|--------------------------|-----------------------|

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| Fluorescent Lights | 3, 5, 7, 9, 11, 13... |
|--------------------|-----------------------|

|                |                  |
|----------------|------------------|
| Arcing Devices | 2, 3, 4, 5, 7... |
|----------------|------------------|

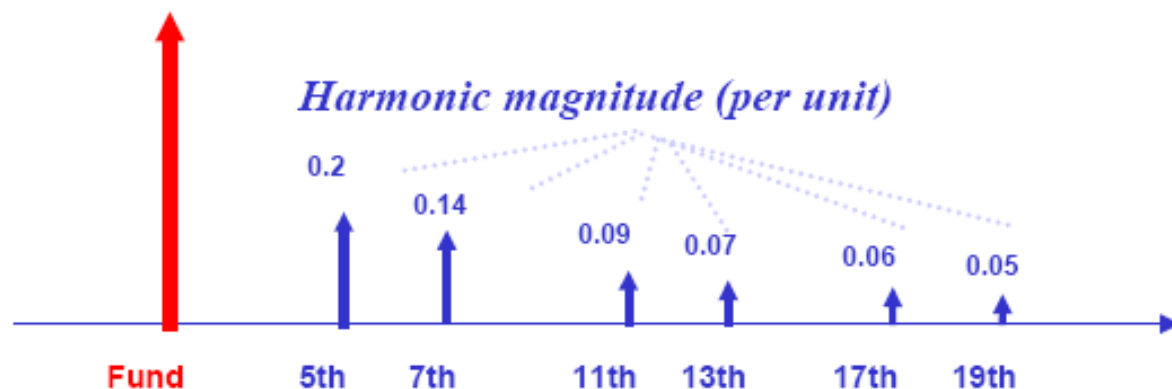
|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Transformer Energization | 2, 3, 4 |
|--------------------------|---------|

\* Generally, magnitude decreases as harmonic order increases

$$H = NP \pm 1$$

i.e. 6 Pulse Drive - 5, 7, 11, 13, 17, 19,...

# Harmonic Spectrum



- Normal VFD Harmonic Spectrum
  - Lower harmonic orders have the higher magnitudes
  - Magnitudes should decline as the harmonic order increases







# HARMONIC SOURCES

- Magnetic Core Base
  - Transformer
  - Motor
  - Magnetic Core Ballast





IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**

**PHYSIoT**  
PHYSICS & IOT ENGINEERING  
DUAL DEGREE PROGRAM

**AIoT**  
By IoT & Information Engineering  
School of Engineering **KMITL**

**PTES**  
CAPACITOR  
www.ptes.co.th



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



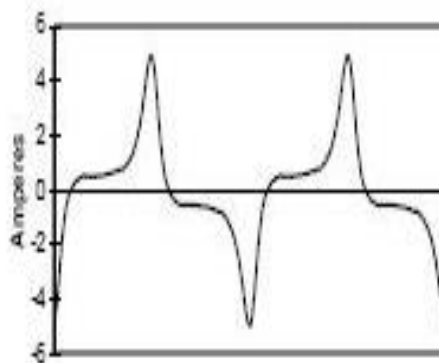


Figure 4.1. Magnetizing Current for Single-Phase 25 kVA, 12.5kV/240V Transformer.  
 $THD_1 = 76.1\%$ .

Spectral Data for Figure 4.1,  
25kV/240V Transformer Magnetizing Current

| Harmonic | Mag - % | Ang - Sine Deg. | Harmonic | Mag - % | Ang - Sine Deg. |
|----------|---------|-----------------|----------|---------|-----------------|
| 1        | 100.00  | -66             | 2        |         |                 |
| 3        | 63.50   | -69             | 4        |         |                 |
| 5        | 35.90   | -70             | 6        |         |                 |
| 7        | 18.30   | -69             | 8        |         |                 |
| 9        | 10.10   | -73             | 10       |         |                 |
| 11       | 5.40    | -78             | 12       |         |                 |
| 13       | 2.10    | -80             | 14       |         |                 |
| 15       | 0.90    | -101            | 16       |         |                 |
| 17       | 0.40    | -96             | 18       |         |                 |
| 19       | 0.10    | -90             | 20       |         |                 |
| 21       |         |                 | 22       |         |                 |
| 23       | 0.20    | -91             | 24       |         |                 |
| 25       | 0.20    | -174            | 26       |         |                 |
| 27       | 0.10    | 126             | 28       |         |                 |
| 29       |         |                 | 30       |         |                 |
| 31       | 0.20    | 21              | 32       |         |                 |
| 33       | 0.20    | 99              | 34       |         |                 |
| 35       |         |                 | 36       |         |                 |
| 37       | 0.10    | -44             | 38       |         |                 |
| 39       |         |                 | 40       |         |                 |
| 41       |         |                 | 42       |         |                 |
| 43       | 0.30    | -90             | 44       |         |                 |
| 45       |         |                 | 46       |         |                 |
| 47       | 0.40    | 64              | 48       |         |                 |
| 49       | 0.20    | -165            | 50       |         |                 |



# HARMONIC SOURCES

- ARC/GAS Discharge Base
  - Arc Furnace
  - Induction Furnace
  - Arc / Spot Welding







IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**

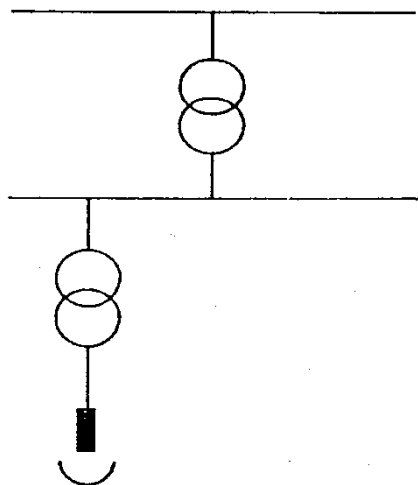


Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





## ARC FURNACES



Continuous spectrum of harmonics and interharmonics



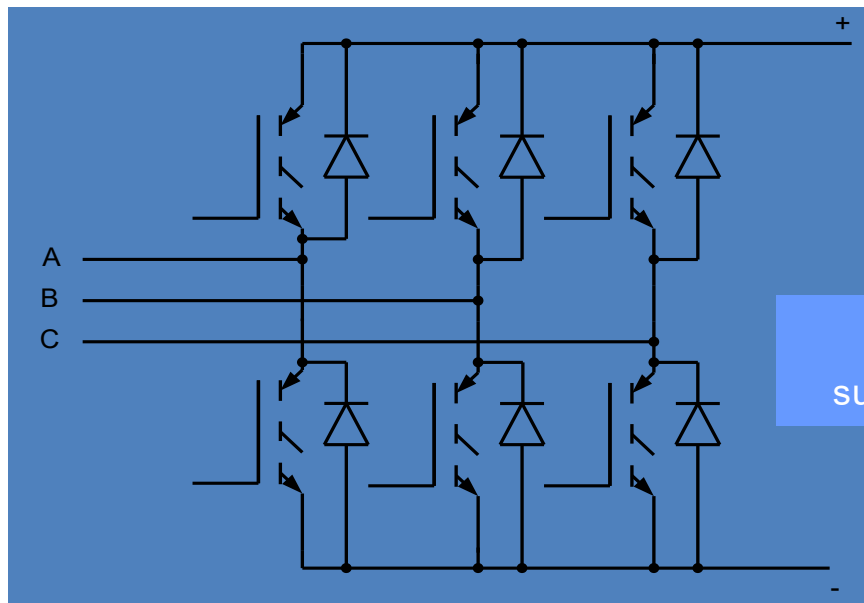
Orange Green Instruments



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



## Converter AC to DC

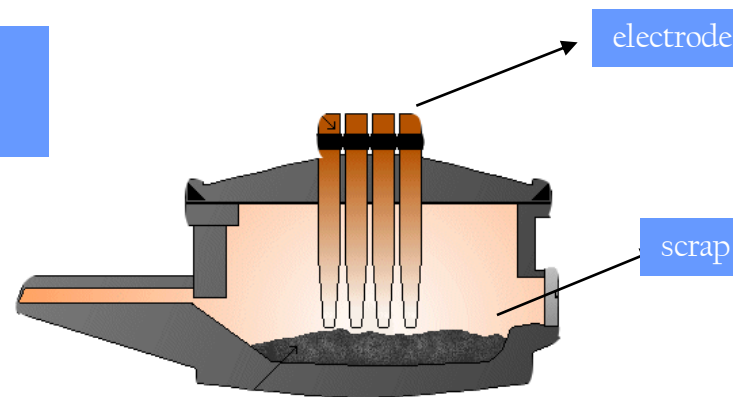


→  
such as

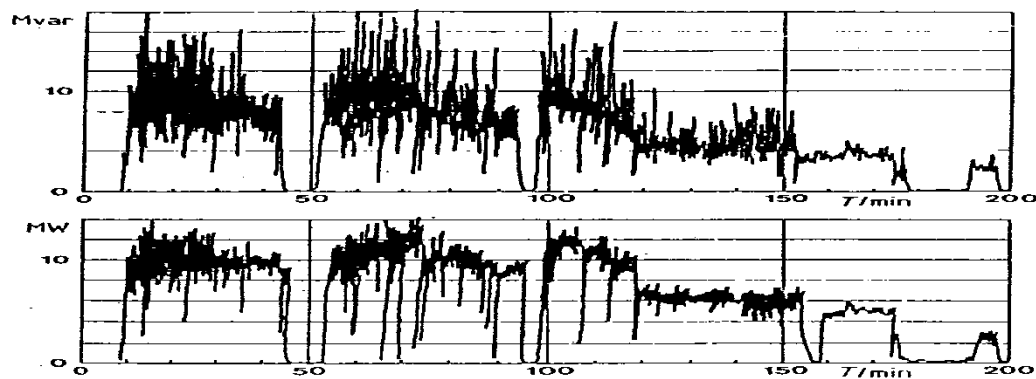
## IGBT-Diode Bridges



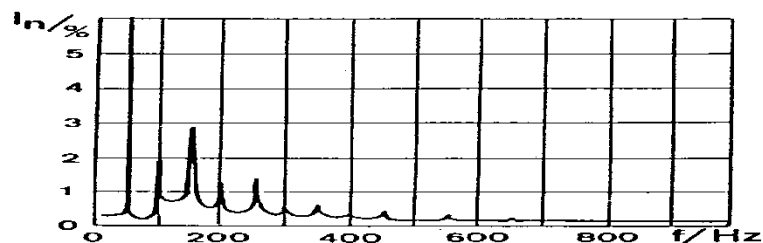
DC SERVO DRIVE



Electrode in EAF “Electric Arc Furnace”



Changes in reactive and active power in an arc furnace during one melting cycle.



Average one-minute spectrum of total current at arc furnaces  
Furnace power during measurement 35 MW.

## Harmonic Content of Arc Furnace Current at Two Stages of the Melting Cycle

| Furnace condition            | Harmonic Current<br>% of Fundamental |     |     |     |     |
|------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                              | Harmonic Order                       |     |     |     |     |
|                              | 2                                    | 3   | 4   | 5   | 7   |
| Initial melting (active arc) | 7.7                                  | 5.8 | 2.5 | 4.2 | 3.1 |
| Refining (stable arc)        | 0.0                                  | 2.0 | 0.0 | 2.1 | 0.0 |

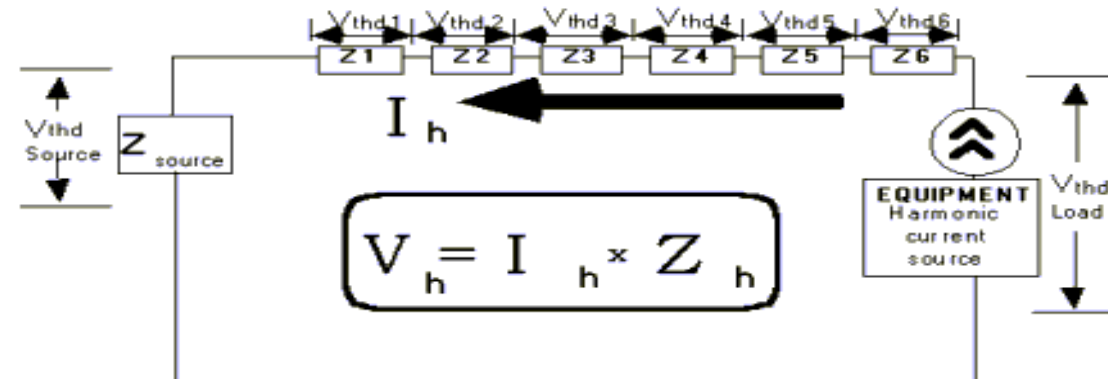
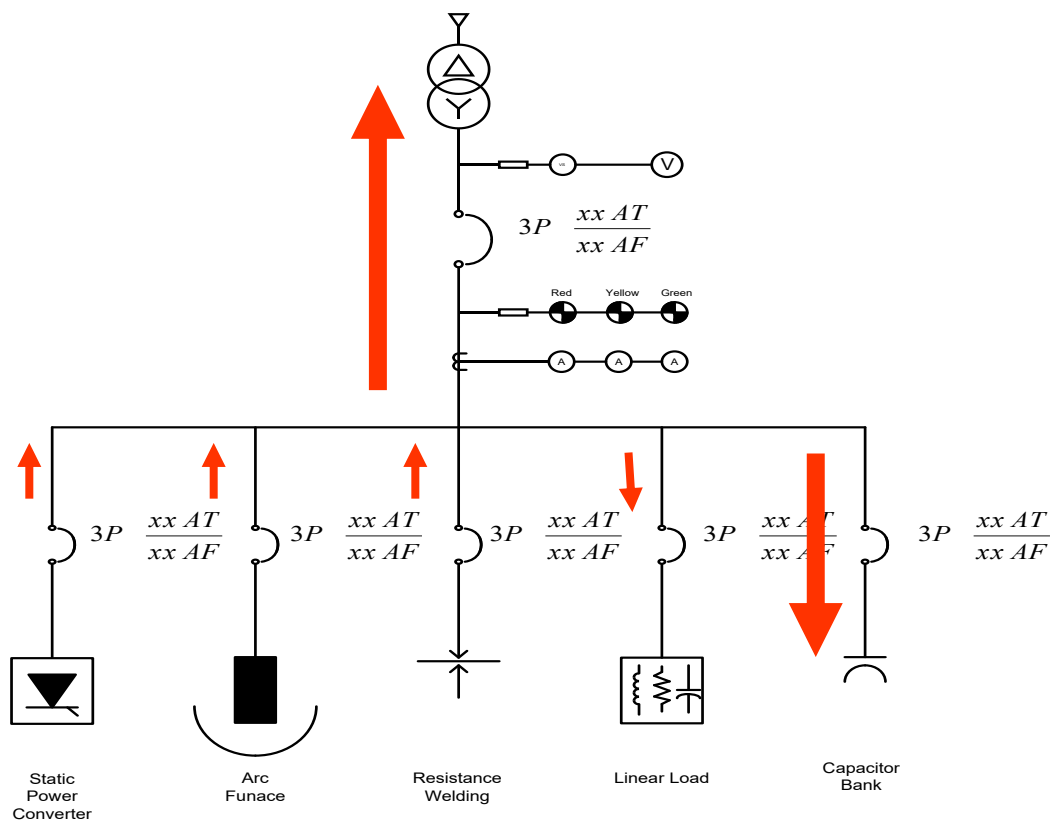




# Harmonic Flow in Power System

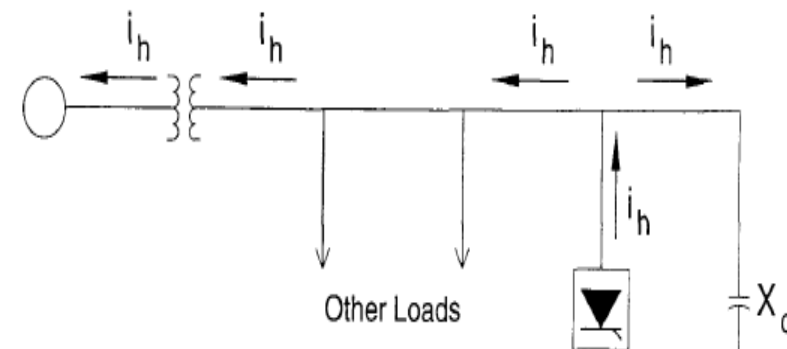


*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

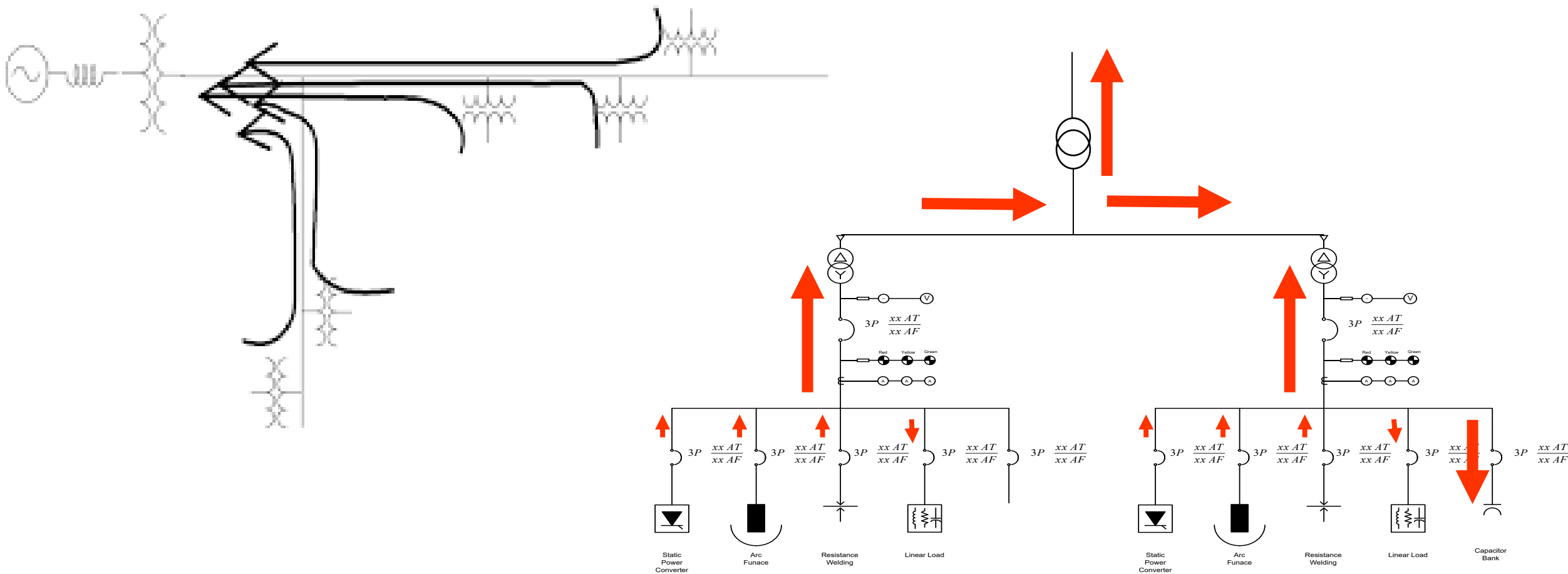


Where: (Ohm's Law)

$V_h$  →  $h^{th}$  harmonic voltage  
 $I_h$  →  $h^{th}$  harmonic current  
 $Z_h$  → system impedance for  $h^{th}$  harmonic









# Limit of Harmonic in Power System



*Dr. Suwilai Phumpho    Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





## STANDARDS/RECOMMENDATION

PRC - PQG – 01 / 1998

ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์มอนิก เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม

IEEE 519-2022

IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems

IEC 61000-3-6

Harmonic Emission Limits for Customers Connected to MV, HV, and EHV

IEC 61000-3-2

Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase)

IEC 61000-3-12

Limits - Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current  $> 16$  A and  $\leq 75$  A per phase

EN 61000

Standards are the standards on harmonic distortion limits that are imposed in Europe.

EN 50160

Voltage Characteristics of Electricity Power Supply System

AS 2279

Standards on harmonic distortion limits that are imposed in Australia.

BS G5/3, G5/4, G5/5 Harmonic distortion limits that are imposed in Great Britain.





PRC - PQG - 01 / 1998

ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิก  
เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม

คณะกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย • การไฟฟ้านครหลวง • การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

PRC - PQG - 01 / 1998

## เอกสารอ้างอิง

1. Engineering Recommendation G.5/3 September 1976 The Electricity Council Chief Engineer  
Conference "Limits for Harmonics in The United Kingdom Electricity Supply System"
2. The State Energy Commission of Western Australia (SECWA)  
Part 2 : Technical Requirement
3. IEC 1000 : Electromagnetic Compatibility (EMC)  
Part 4 : Testing and Measurement Techniques  
Section 7 : General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation  
for Power Supply Systems and Equipment Connected thereto





## 5. ขีดจำกัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิก

ตารางที่ 5-2

ขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆที่จุดต่อร่วม  
(รวมทั้งระดับความเพี้ยนที่มีอยู่เดิม)

| ระดับแรงดันไฟฟ้า<br>ที่จุดต่อร่วม (kV) | ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม<br>ของแรงดัน (%) | ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดัน<br>แต่ละอันดับ (%) |           |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------|
|                                        |                                            | อันดับคี่                                          | อันดับคู่ |
| 0.400                                  | 5                                          | 4                                                  | 2         |
| 11 , 12 , 22 and 24                    | 4                                          | 3                                                  | 1.75      |
| 33                                     | 3                                          | 2                                                  | 1         |
| 69                                     | 2.45                                       | 1.63                                               | 0.82      |
| 115 and above                          | 1.5                                        | 1                                                  | 0.5       |



## 5. ขีดจำกัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิก

ตารางที่ 5-1

ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดที่จุดต่อร่วม \*

| ระดับแรงดันไฟฟ้า<br>ที่จุดต่อร่วม (kV) | อันดับฮาร์มอนิกและขีดจำกัดของกระแส (A rms) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |     |    |    |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|----|----|
|                                        | 2                                          | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15 | 16 | 17  | 18 | 19 |
| 0.400                                  | 48                                         | 34  | 22  | 56  | 11  | 40  | 9   | 8   | 7   | 19  | 6   | 16  | 5   | 5  | 5  | 6   | 4  | 6  |
| 11 and 12                              | 13                                         | 8   | 6   | 10  | 4   | 8   | 3   | 3   | 3   | 7   | 2   | 6   | 2   | 2  | 2  | 2   | 1  | 1  |
| 22 , 24 and 33                         | 11                                         | 7   | 5   | 9   | 4   | 6   | 3   | 2   | 2   | 6   | 2   | 5   | 2   | 1  | 1  | 2   | 1  | 1  |
| 69                                     | 8.8                                        | 5.9 | 4.3 | 7.3 | 3.3 | 4.9 | 2.3 | 1.6 | 1.6 | 4.9 | 1.6 | 4.3 | 1.6 | 1  | 1  | 1.6 | 1  | 1  |
| 115 and above                          | 5                                          | 4   | 3   | 4   | 2   | 3   | 1   | 1   | 1   | 3   | 1   | 3   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1  | 1  |

\* : ยอมให้นำค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10 หรือ 0.5 A (ค่าที่มากกว่าค่าใดค่าหนึ่ง) มาใช้กับขีดจำกัดของกระแส  
แต่ละอันดับได้ไม่เกิน 2 อันดับ



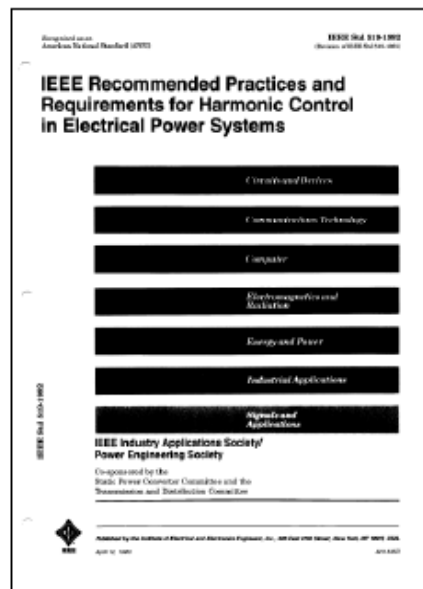


2022

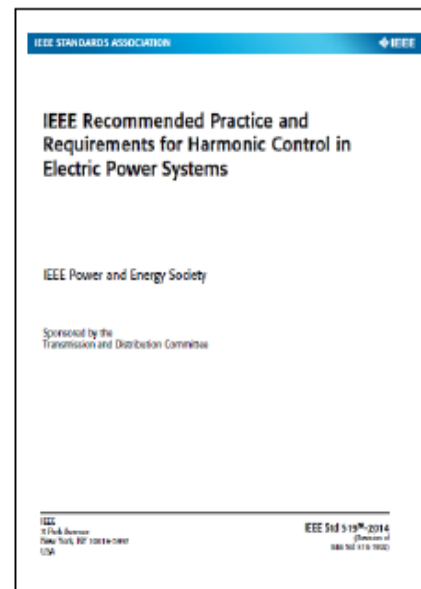
Revision Years: 1981, 1992 and 2014



Sponsor by Static Power Converter Committee of the  
Industry Applications Society



Sponsors by Transmission & Distribution Committee of the  
IEEE Power Engineering Society and Static Power  
Converter Committee of the IEEE Industry Applications  
Society



Sponsor by Transmission & Distribution Committee of the  
IEEE Power Engineering Society



Orange Green  
Instruments



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



# *IEEE 519 -Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems*

*2014 Vs 2022?*



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



## VOLTAGE DISTORTIONS LIMIT

**Table 1—Voltage distortion limits**

| Bus voltage $V$ at PCC          | Individual harmonic (%) $h \leq 50$ | Total harmonic distortion THD (%) |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| $V \leq 1.0$ kV                 | 5.0                                 | 8.0                               |
| $1 \text{ kV} < V \leq 69$ kV   | 3.0                                 | 5.0                               |
| $69 \text{ kV} < V \leq 161$ kV | 1.5                                 | 2.5                               |
| $161 \text{ kV} < V$            | 1.0                                 | 1.5*                              |

\*High-voltage systems are allowed to have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal whose effects are found to be attenuated at points in the network where future users may be connected.

IEEE 519 -2022

**NO CHANG**

| Bus voltage $V$ at PCC          | Individual harmonic (%) | Total harmonic distortion THD (%) |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| $V \leq 1.0$ kV                 | 5.0                     | 8.0                               |
| $1 \text{ kV} < V \leq 69$ kV   | 3.0                     | 5.0                               |
| $69 \text{ kV} < V \leq 161$ kV | 1.5                     | 2.5                               |
| $161 \text{ kV} < V$            | 1.0                     | 1.5*                              |

IEEE 519 -2014

\*High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal whose effects will have attenuated at points in the network where future users may be



# CURRENT DISTORTION LIMITS FOR SYSTEMS RATED 120 V TO 69 KV \*\*\*

| Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$ |                   |                  |                  |                  |                     |      |
|---------------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------|
| Individual harmonic order <sup>b</sup>                  |                   |                  |                  |                  |                     |      |
| $I_{sc}/I_L$                                            | $2 \leq h < 11^a$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h \leq 50$ | TDD  |
| $< 20^c$                                                | 4.0               | 2.0              | 1.5              | 0.6              | 0.3                 | 5.0  |
| $20 < 50$                                               | 7.0               | 3.5              | 2.5              | 1.0              | 0.5                 | 8.0  |
| $50 < 100$                                              | 10.0              | 4.5              | 4.0              | 1.5              | 0.7                 | 12.0 |
| $100 < 1000$                                            | 12.0              | 5.5              | 5.0              | 2.0              | 1.0                 | 15.0 |
| $> 1000$                                                | 15.0              | 7.0              | 6.0              | 2.5              | 1.4                 | 20.0 |

<sup>a</sup> For  $h \leq 6$ , even harmonics are limited to 50% of the harmonic limits shown in the table.

<sup>b</sup> Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

<sup>c</sup> Power generation facilities are limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$  unless covered by other standards with applicable scope.  
where:  
 $I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC  
 $I_L$  = maximum demand load current at PCC under normal load operating conditions

| Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$   |                 |                  |                  |                  |                     |      |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------|
| Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup> |                 |                  |                  |                  |                     |      |
| $I_{sc}/I_L$                                              | $3 \leq h < 11$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h \leq 50$ | TDD  |
| $< 20^c$                                                  | 4.0             | 2.0              | 1.5              | 0.6              | 0.3                 | 5.0  |
| $20 < 50$                                                 | 7.0             | 3.5              | 2.5              | 1.0              | 0.5                 | 8.0  |
| $50 < 100$                                                | 10.0            | 4.5              | 4.0              | 1.5              | 0.7                 | 12.0 |
| $100 < 1000$                                              | 12.0            | 5.5              | 5.0              | 2.0              | 1.0                 | 15.0 |
| $> 1000$                                                  | 15.0            | 7.0              | 6.0              | 2.5              | 1.4                 | 20.0 |

<sup>a</sup> Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

<sup>b</sup> Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

<sup>c</sup> All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$   
where  
 $I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC  
 $I_L$  = maximum demand load current (fundamental frequency component) at the PCC under normal load operating conditions

IEEE 519 -2022

IEEE 519 -2014



# CURRENT DISTORTION LIMITS FOR SYSTEMS RATED 69KV TO 161 KV

| Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$ |                   |                  |                  |                  |                     |      |
|---------------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------|
| Individual harmonic order <sup>b</sup>                  |                   |                  |                  |                  |                     |      |
| $I_{sc}/I_L$                                            | $2 \leq h < 11^a$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h \leq 50$ | TDD  |
| $< 20^c$                                                | 2.0               | 1.0              | 0.75             | 0.3              | 0.15                | 2.5  |
| $20 < 50$                                               | 3.5               | 1.75             | 1.25             | 0.5              | 0.25                | 4.0  |
| $50 < 100$                                              | 5.0               | 2.25             | 2.0              | 0.75             | 0.35                | 6.0  |
| $100 < 1000$                                            | 6.0               | 2.75             | 2.5              | 1.0              | 0.5                 | 7.5  |
| $> 1000$                                                | 7.5               | 3.5              | 3.0              | 1.25             | 0.7                 | 10.0 |

<sup>a</sup> For  $h \leq 6$ , even harmonics are limited to 50% of the harmonic limits shown in the table.

<sup>b</sup> Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

<sup>c</sup> Power generation facilities are limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$  unless covered by other standards with applicable scope.

where

$I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC

$I_L$  = maximum demand load current at PCC under normal load operating conditions

IEEE 519 -2022

| Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$   |                 |                  |                  |                  |                     |      |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------|
| Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup> |                 |                  |                  |                  |                     |      |
| $I_{sc}/I_L$                                              | $3 \leq h < 11$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h \leq 50$ | TDD  |
| $< 20^c$                                                  | 2.0             | 1.0              | 0.75             | 0.3              | 0.15                | 2.5  |
| $20 < 50$                                                 | 3.5             | 1.75             | 1.25             | 0.5              | 0.25                | 4.0  |
| $50 < 100$                                                | 5.0             | 2.25             | 2.0              | 0.75             | 0.35                | 6.0  |
| $100 < 1000$                                              | 6.0             | 2.75             | 2.5              | 1.0              | 0.5                 | 7.5  |
| $> 1000$                                                  | 7.5             | 3.5              | 3.0              | 1.25             | 0.7                 | 10.0 |

<sup>a</sup> Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

<sup>b</sup> Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

<sup>c</sup> All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$

where

$I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC

$I_L$  = maximum demand load current (fundamental frequency component)  
at the PCC under normal load operating conditions

IEEE 519 -2014





# CURRENT DISTORTION LIMITS FOR SYSTEMS RATED > 161 KV

www.youtube.com – หากต้องการออกจากโหมดเต็มหน้าจอ ให้กด Esc

| Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$ |                   |                  |                  |                  |                     |      |
|---------------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------|
| Individual harmonic order <sup>b</sup>                  |                   |                  |                  |                  |                     |      |
| $I_{sc}/I_L$                                            | $2 \leq h < 11^a$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h \leq 50$ | TDD  |
| < 25 <sup>c</sup>                                       | 1.0               | 0.5              | 0.38             | 0.15             | 0.1                 | 1.5  |
| 25 < 50                                                 | 2.0               | 1.0              | 0.75             | 0.3              | 0.15                | 2.5  |
| $\geq 50$                                               | 3.0               | 1.5              | 1.15             | 0.45             | 0.22                | 3.75 |

<sup>a</sup> For  $h \leq 6$ , even harmonics are limited to 50% of the harmonic limits shown in the table.

<sup>b</sup> Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

<sup>c</sup> Power generation facilities are limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$  unless covered by other standards with applicable scope.

where

$I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC

$I_L$  = maximum demand load current at PCC under normal load operating conditions

IEEE 519 -2022

| Maximum harmonic current distortion<br>in percent of $I_L$ |                 |                  |                  |                  |                     |      |
|------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------|
| Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup>  |                 |                  |                  |                  |                     |      |
| $I_{sc}/I_L$                                               | $3 \leq h < 11$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h \leq 50$ | TDD  |
| < 25 <sup>c</sup>                                          | 1.0             | 0.5              | 0.38             | 0.15             | 0.1                 | 1.5  |
| 25 < 50                                                    | 2.0             | 1.0              | 0.75             | 0.3              | 0.15                | 2.5  |
| $\geq 50$                                                  | 3.0             | 1.5              | 1.15             | 0.45             | 0.22                | 3.75 |

<sup>a</sup> Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

<sup>b</sup> Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

<sup>c</sup> All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$

where

$I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC

$I_L$  = maximum demand load current (fundamental frequency component)  
at the PCC under normal load operating conditions

IEEE 519 -2014





## ความท้าทายในการปฏิบัติตามมาตรฐาน IEEE Std 519-2022

**1.การรวบรวมข้อมูล:** การออกแบบระบบที่แม่นยำต้องมีโปรไฟล์โหลดโดยละเอียดและการวิเคราะห์ฮาร์มอนิก

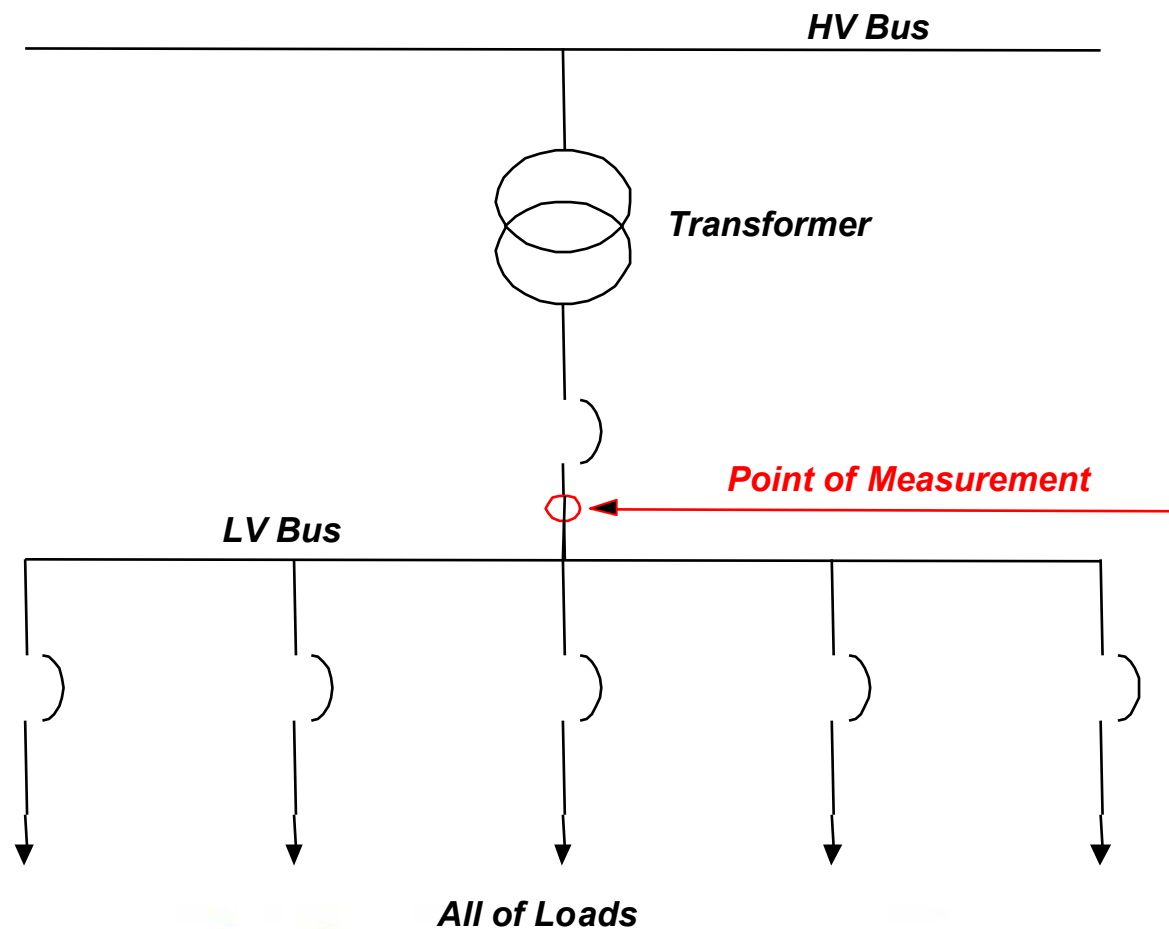
**2.การประมาณค่ากระแสความต้องการสูงสุด:** การกำหนดกระแสความต้องการสูงสุด มักต้องใช้ข้อมูลในอดีตจากปีที่แล้ว ซึ่งอาจไม่มีให้ใช้ในช่วงขั้นตอนการออกแบบ

**3.การกำหนดจุดเชื่อมต่อรวม (PCC):** การตกลงเกี่ยวกับตำแหน่ง PCC ระหว่างยูทิลิตี้ และผู้ใช้ปลายทางอาจทำให้กระบวนการซับซ้อน





**จุดต่อร่วม (Point of Common Coupling , PCC) - ตำแหน่งในระบบของการไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่สุด ซึ่งผู้ใช้ไฟฟารายอื่นอาจต่อร่วมได้**



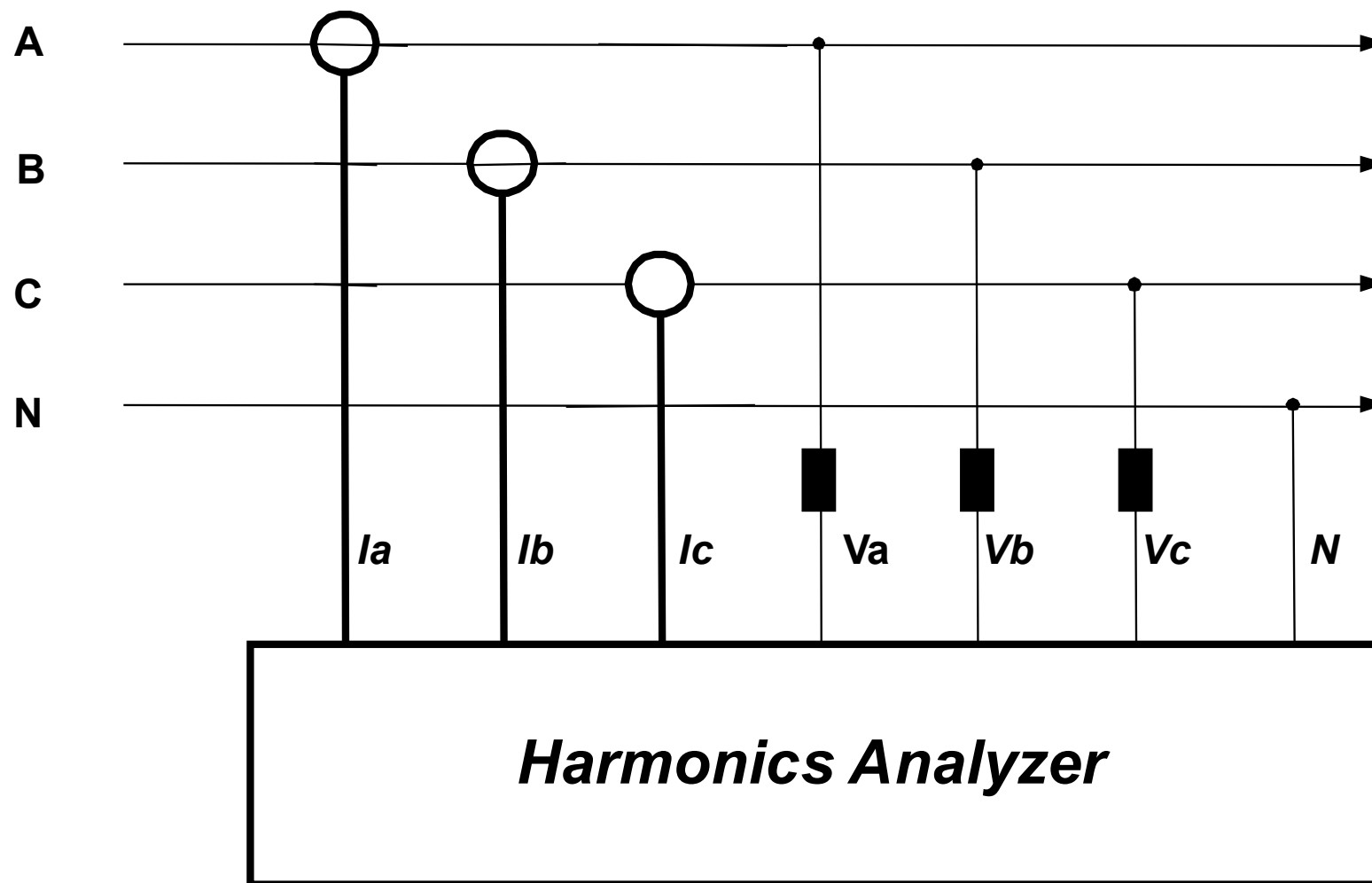


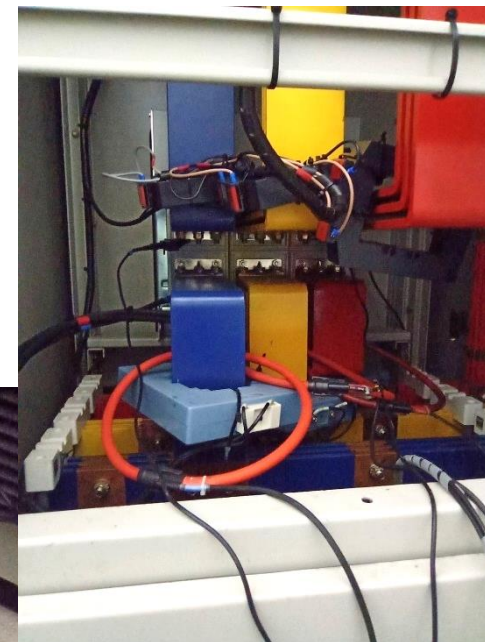
# Harmonic Survey



*Dr. Suwilai Phumpho    Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน







Orange Green  
Instruments



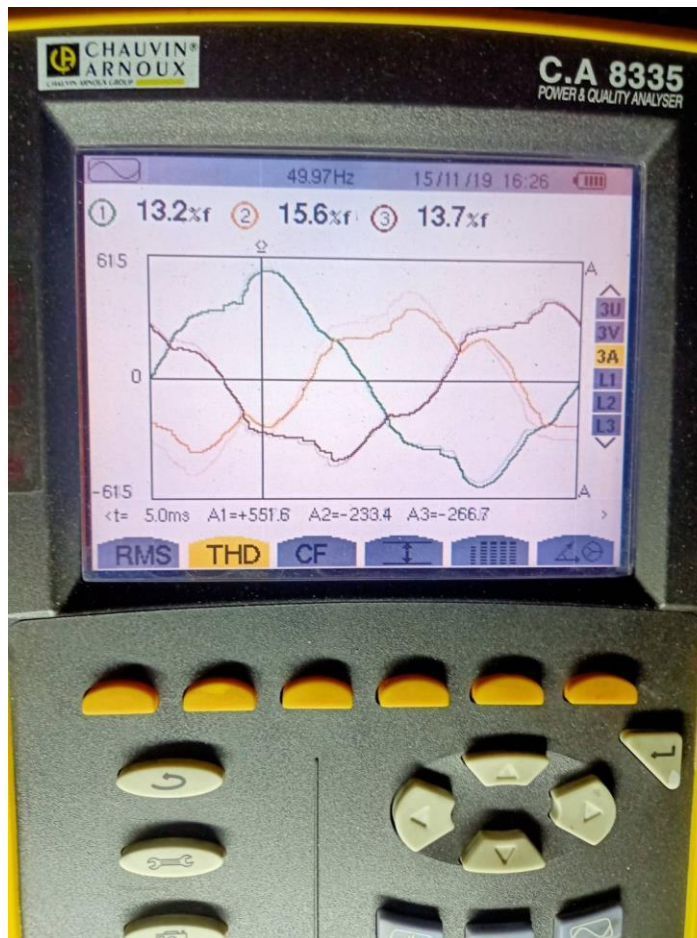
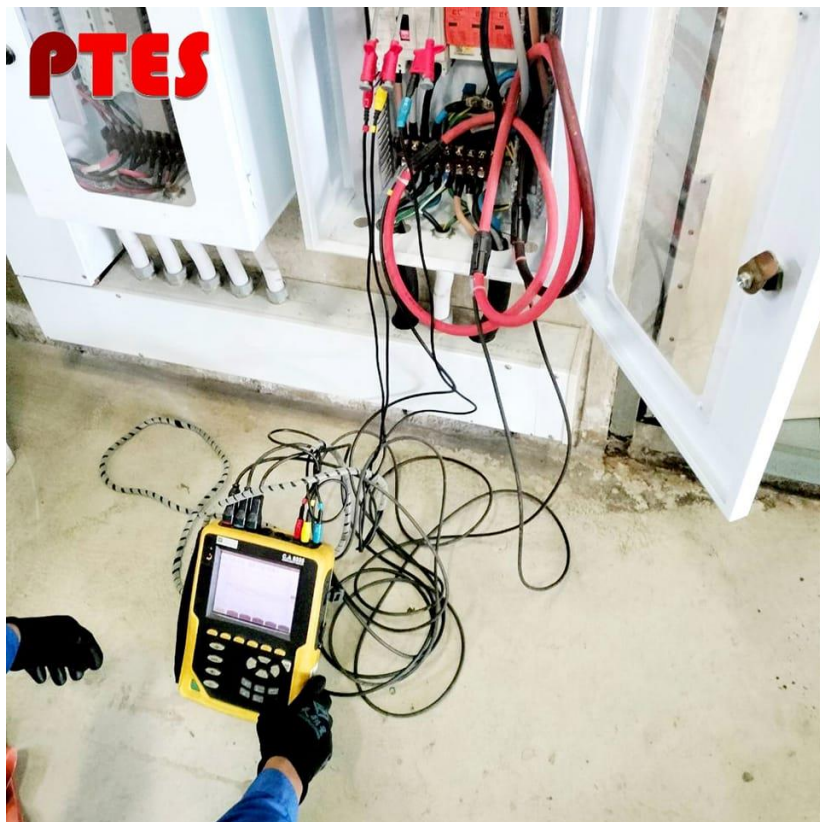
Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





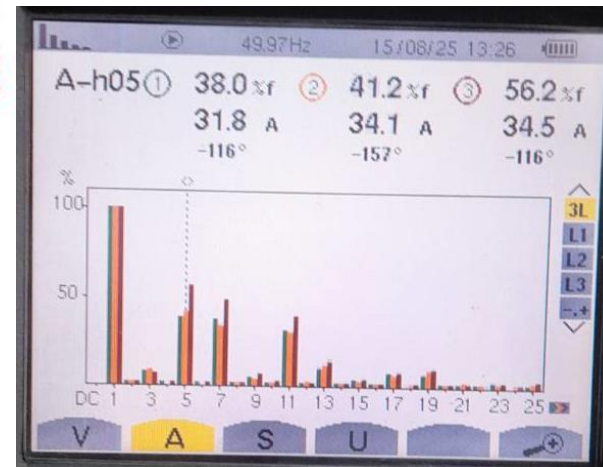
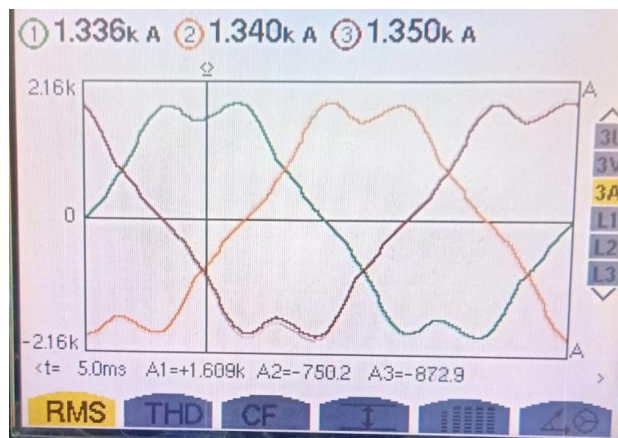
Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



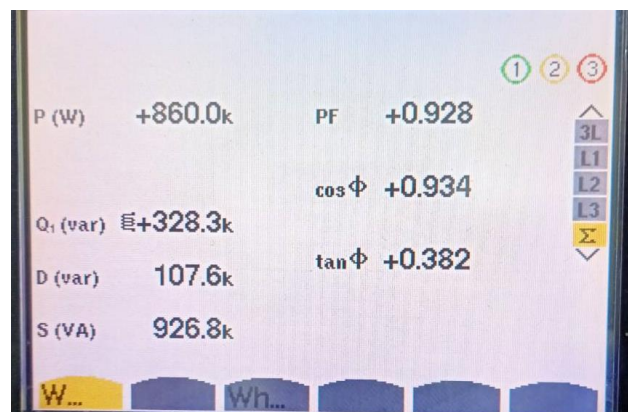
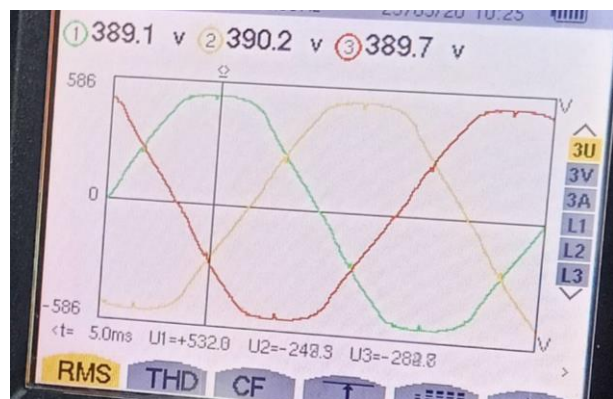


Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichot Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





| $I_{sc}/I_L$ | <11  | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h$ | TDD  |
|--------------|------|------------------|------------------|------------------|-------------|------|
| <20          | 4.0  | 2.0              | 1.5              | 0.6              | 0.3         | 5.0  |
| 20<50        | 7.0  | 3.5              | 2.5              | 1.0              | 0.5         | 8.0  |
| 50<100       | 10.0 | 4.5              | 4.0              | 1.5              | 0.7         | 12.0 |
| 100<1000     | 12.0 | 5.5              | 5.0              | 2.0              | 1.0         | 15.0 |
| >1000        | 15.0 | 7.0              | 6.0              | 2.5              | 1.4         | 20.0 |



| ระดับแรงดันไฟฟ้า<br>ที่จุดต่อรวม (kV) | อันดับฮาร์มอนิกและขีดจำกัดของกระแส (A rms) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |     |    |    |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|----|----|
|                                       | 2                                          | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15 | 16 | 17  | 18 | 19 |
| 0.400                                 | 48                                         | 34  | 22  | 56  | 11  | 40  | 9   | 8   | 7   | 19  | 6   | 16  | 5   | 5  | 5  | 6   | 4  | 6  |
| 11 and 12                             | 13                                         | 8   | 6   | 10  | 4   | 8   | 3   | 3   | 3   | 7   | 2   | 6   | 2   | 2  | 2  | 2   | 1  | 1  |
| 22, 24 and 33                         | 11                                         | 7   | 5   | 9   | 4   | 6   | 3   | 2   | 2   | 6   | 2   | 5   | 2   | 1  | 1  | 2   | 1  | 1  |
| 69                                    | 8.8                                        | 5.9 | 4.3 | 7.3 | 3.3 | 4.9 | 2.3 | 1.6 | 1.6 | 4.9 | 1.6 | 4.3 | 1.6 | 1  | 1  | 1.6 | 1  | 1  |
| 115 and above                         | 5                                          | 4   | 3   | 4   | 2   | 3   | 1   | 1   | 1   | 3   | 1   | 3   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1  | 1  |



Dr. Suwilai Phumppo Dr. Pichet Thainiyom

ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

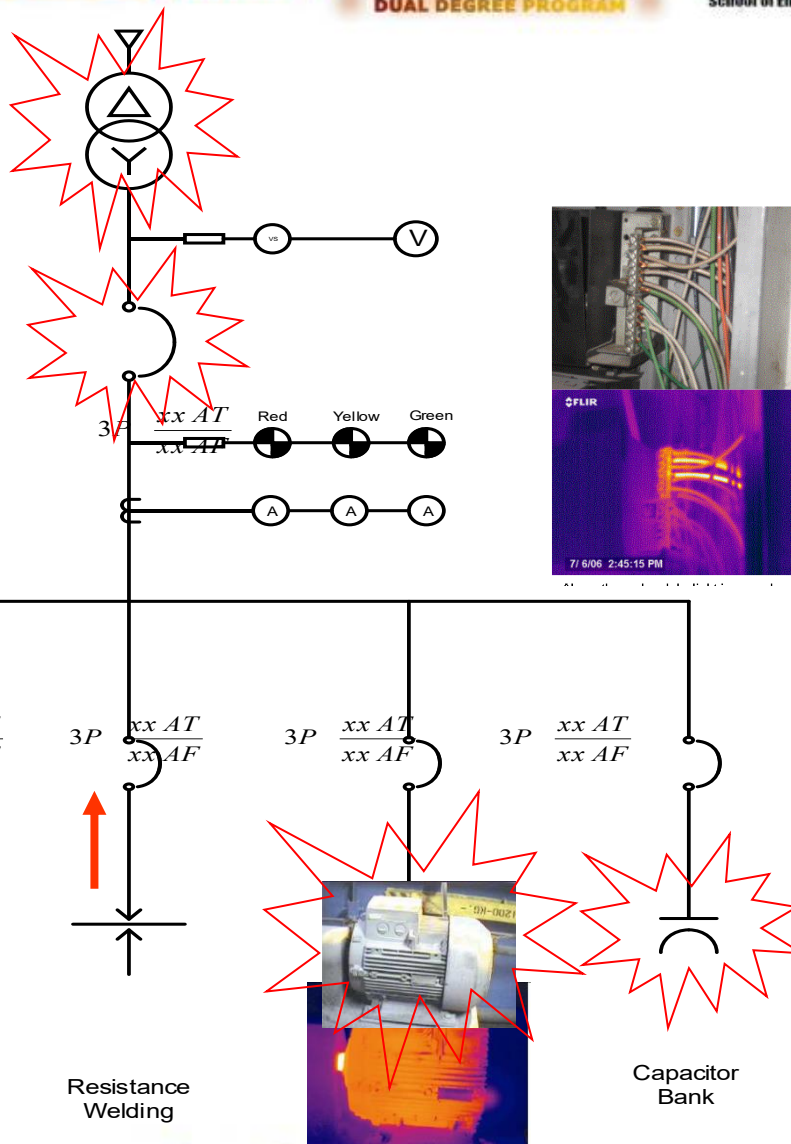
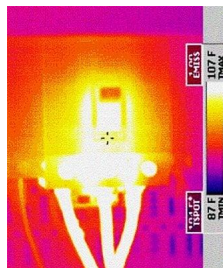




# Effects of Harmonic in Power System



*Dr. Suwilai Phumpho    Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



สายไฟฟ้า



หม้อแปลงไฟฟ้า



สายนิวทรัล และบัสบาร์นิวทรัล



มอเตอร์ไฟฟ้า



เบรกเกอร์



ฟิวส์



คาปาซิเตอร์แบงค์



ระบบสื่อสาร



อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

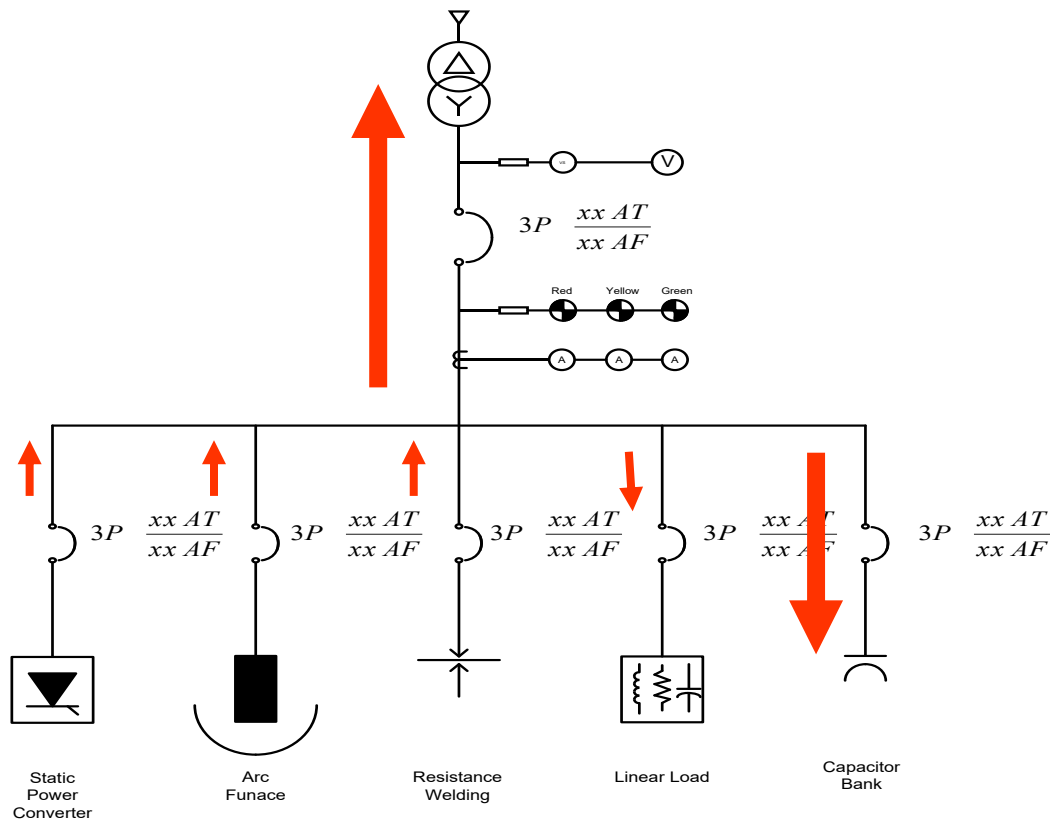




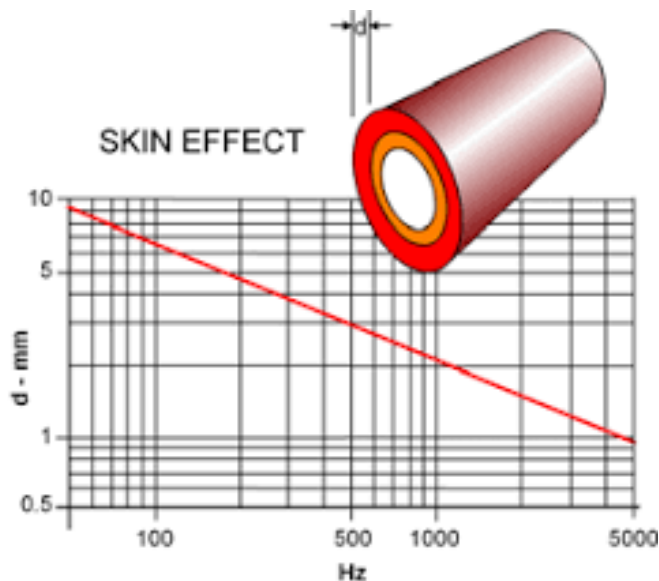
# Effect of Harmonic on Power Cable



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน







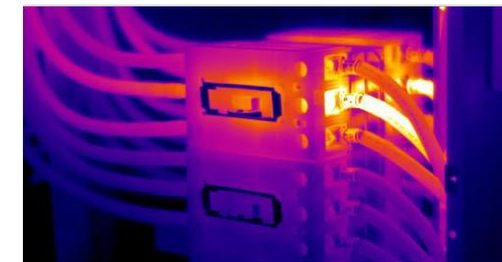
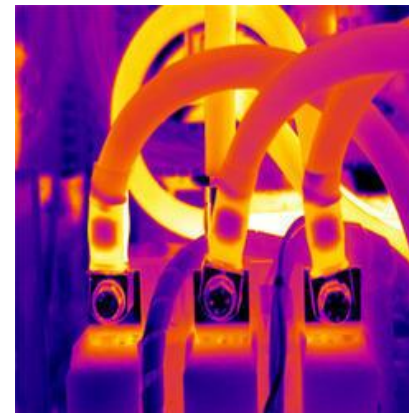
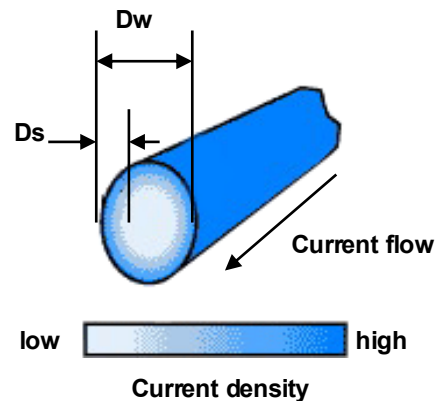
## สายไฟฟ้าร้อน

ผลของความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณไฮดในสายไฟฟ้า จะเป็นผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าแรงตึงเครียดที่ผิว (Skin Effect) ซึ่งจะแปรเปลี่ยนออกมาอยู่ในรูปของความร้อน กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบมีค่าสูงขึ้น อายุการใช้งานของสายไฟฟ้าจะสั้นลง และเกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น



## The Skin Effect

$$D_s = \sqrt{\left(\frac{\rho \times 10^7}{\mu_r f}\right) / 2\pi}$$

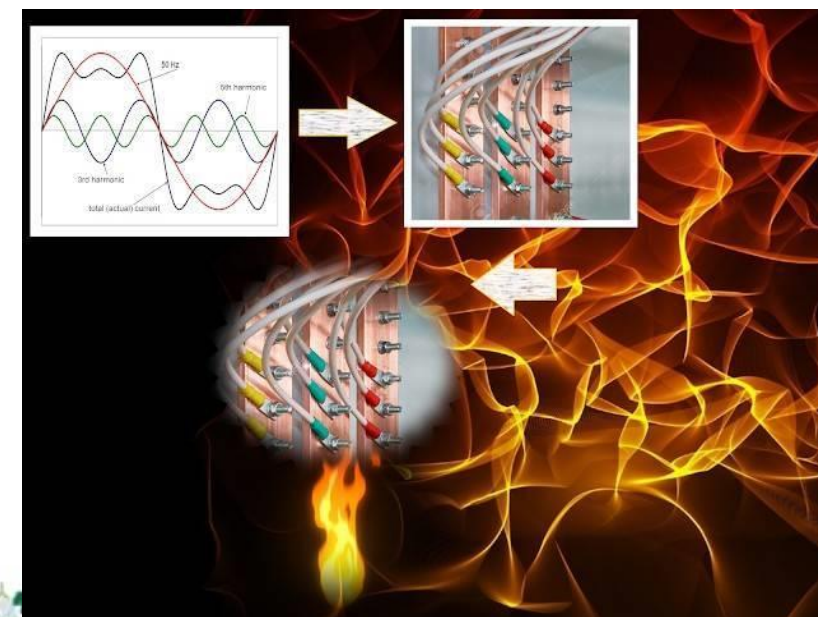


when  $\rightarrow f$ : Harmonic frequency

$$R = 8.32 \times 10^{-5} \sqrt{f / D_w}$$

therefore  $\rightarrow$  increase resistance of conductor

result  $\rightarrow$  increase temperature in conductor



ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

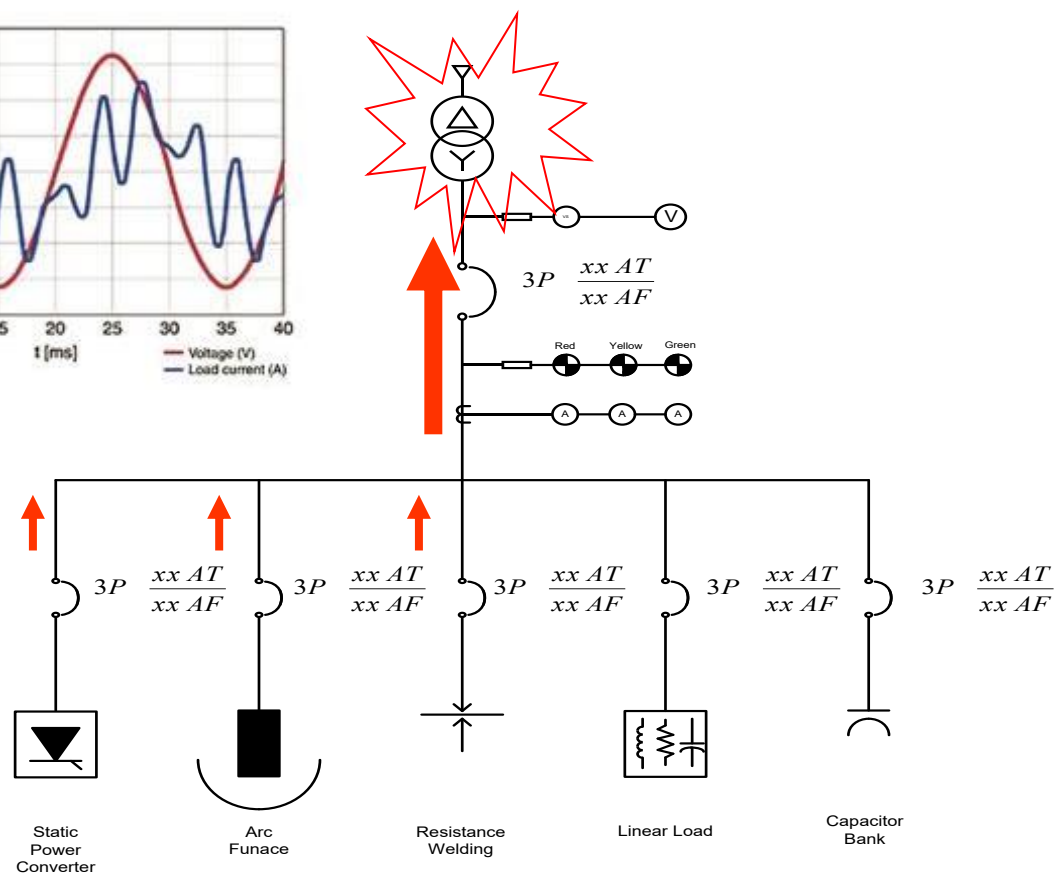
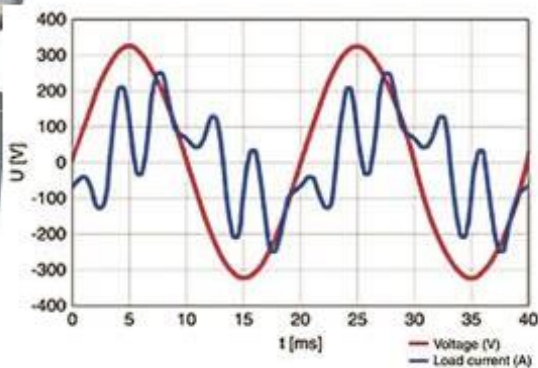




## Effects of Harmonic on Power Transformer



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



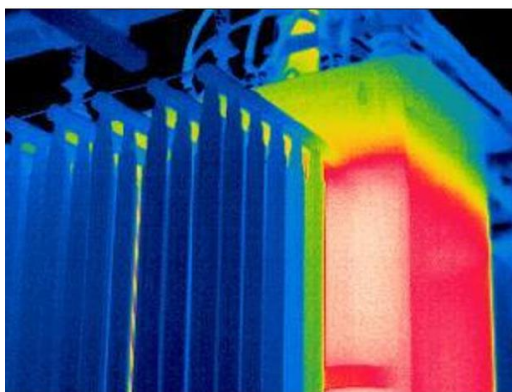




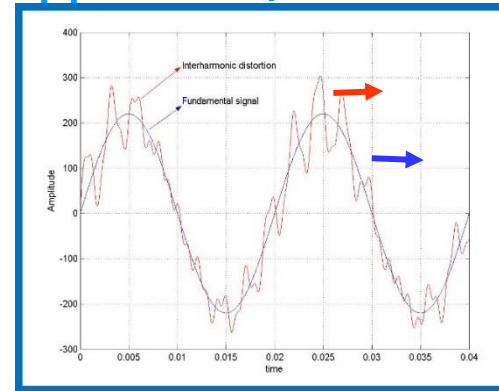
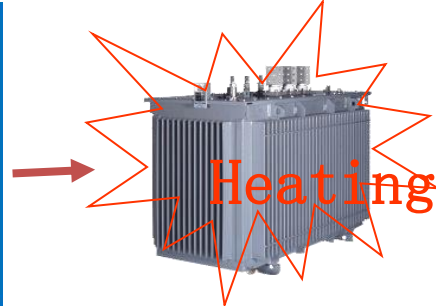
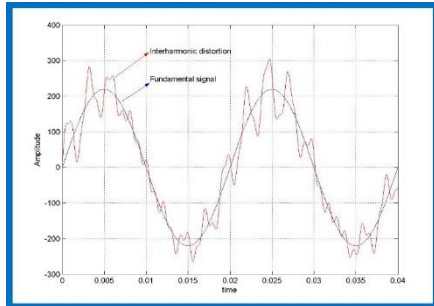
## หม้อแปลงไฟฟ้าร้อน กำลังงานสูญเสียสูง

ความร้อนที่สูงขึ้นในแกนเหล็ก จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ เช่น กระแสไหลลง ขนาดความผิดเพี้ยนจากฮาร์มอนิกและอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้านั้น ๆ โดยผลกระทบจากฮาร์มอนิกต่อหม้อแปลงไฟฟ้ามีสองส่วน คือ ส่วนแรกมาจากกระแสฮาร์มอนิกสร้างความสูญเสียในขดลวดทองแดง และส่วนที่สองมาจากแรงดันฮาร์มอนิกที่สร้างความสูญเสียในแกนเหล็กเพิ่มขึ้น

และและฮาร์มอนิกยังทำให้หม้อแปลงมีความร้อนสูงขึ้นจากการสูญเสียของกระแสไหลวน ทำให้ประสิทธิภาพลดลงและเสียงรบกวนเพิ่มขึ้น



## Loss in Transformer Case Of

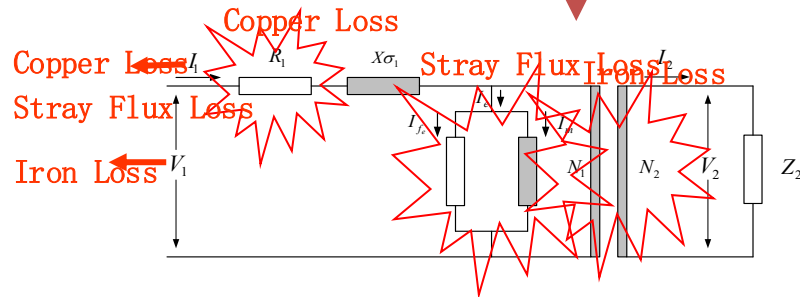


Harmonic Frequency      Fundamental Frequency

$Stray\ Flux\ Loss_{Harmonic} > Stray\ Flux\ Loss_{fundamental}$

$Iron\ Loss_{Harmonic} > Iron\ Loss_{fundamental}$

$Copper\ Loss_{Harmonic} > Copper\ Loss_{fundamental}$



Therefore

$Total\ Loss_{harmonic} > Total\ Loss_{fundamental}$

$Efficiency_{harmonic} < Efficiency_{fundamental}$

Due to

$$I_{harmonic} > I_{fundamental} \quad \text{when} \quad I(t)_{harmonic} = I(t)_{fundamental} + \sum_{n=2}^{\infty} I_h(t)$$

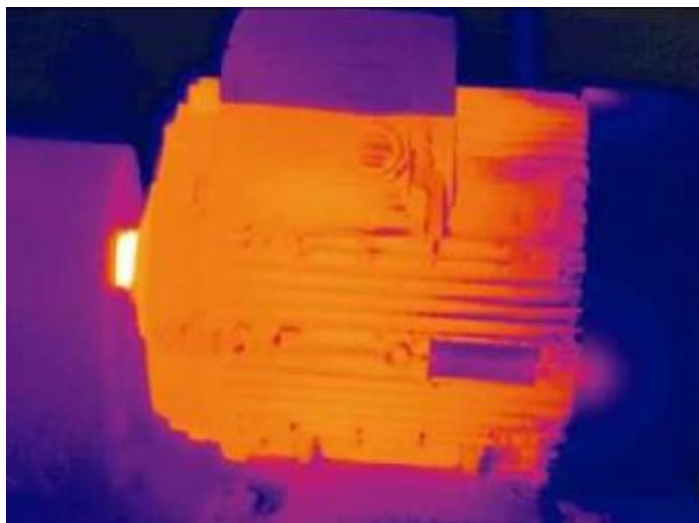




# Effects of Harmonic on Motor



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

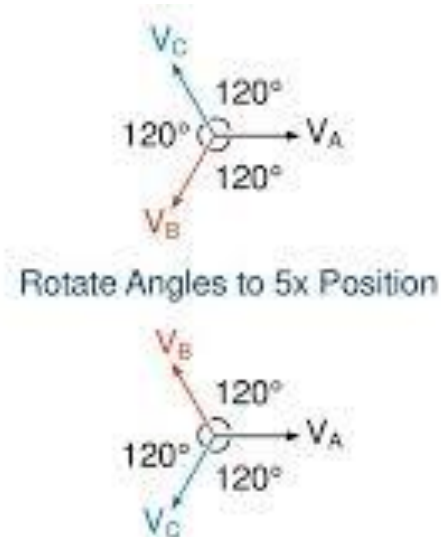
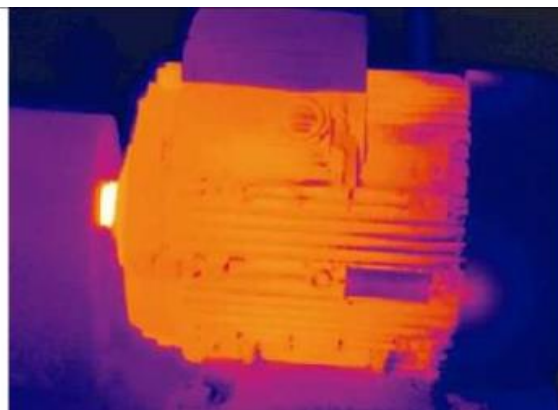


## มอเตอร์ร้อน กำลังงานสูญเสียสูง

ฮาร์มอนิกที่มีลำดับจัดอยู่ในกลุ่ม Negative Sequence เช่น อันดับที่ 5, 11, 17 ซึ่ง Phase Rotation จะหมุนสวนทางกับ Positive Sequence ส่งผลทำให้เกิดความร้อนและทำให้มอเตอร์เกิดสภาวะ Reverse Rotation Magnetic Field เนื่องจากมีแรงมาต้านการหมุนของ Rotor นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการสูญเสียสมดุลของแรงดันไฟฟ้าเป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เสียสมดุลไปด้วยแต่ปกติแล้วอัตราการเสียสมดุลของกระแสไฟฟ้าจะมากกว่าแรงดันไฟฟ้า การเสียสมดุลส่งผลให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง

และฮาร์มอนิกยังทำให้มอเตอร์มีความร้อนสูงขึ้นจากการสูญเสียของกระแสไหลวน ทำให้ประสิทธิภาพและแรงบิดลดลงและเสียงรบกวนจากอุปกรณ์เพิ่มขึ้น





**Fifth Harmonic  
Counters Torque**

Normal (ABC)



Fifth Harmonic (ACB)

- Increased magnetic and copper losses
- Each harmonic generates a field which may rotate forward (+), backward (-), or remain stationary (0)

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| + | - | 0 | + | - | 0 | + | - | 0 | +  | -  | 0  |

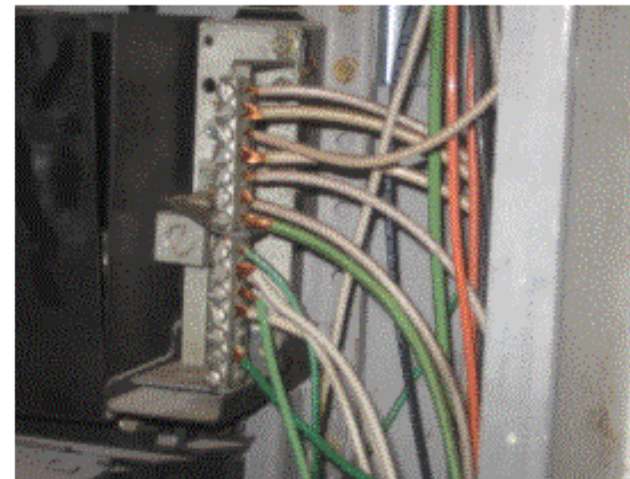
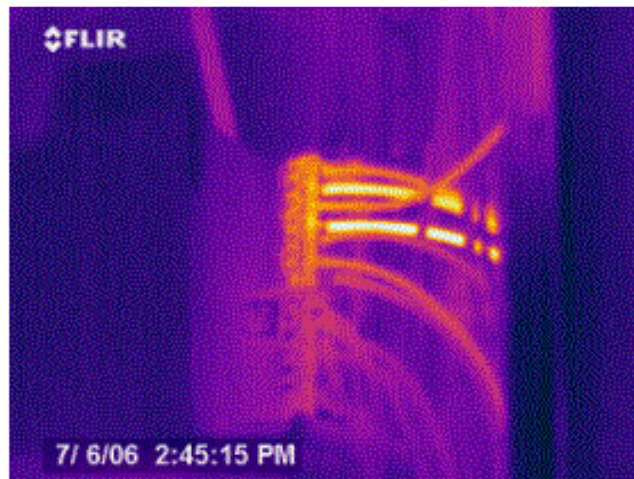
- Zero sequence harmonics** produce a stationary field, causing over-heating and reduced efficiency



# Effects of Harmonic on Neutral Cable



*Dr. Suwilai Phumpho    Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



Above thermal and daylight images show overheated neutral wires, proven to be caused by harmonics.

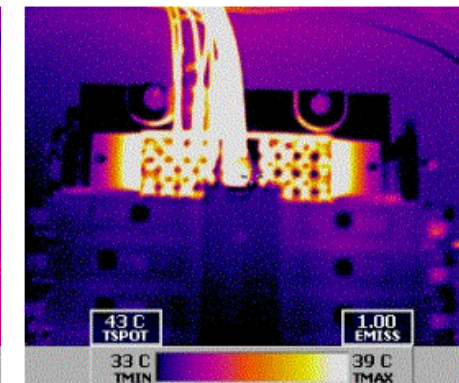
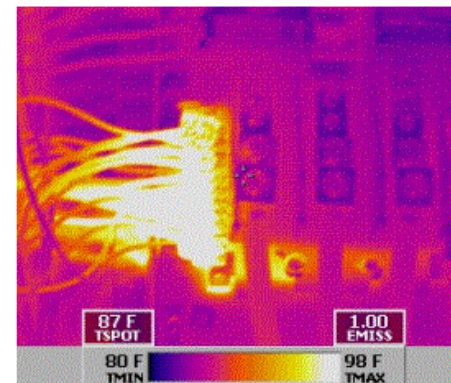
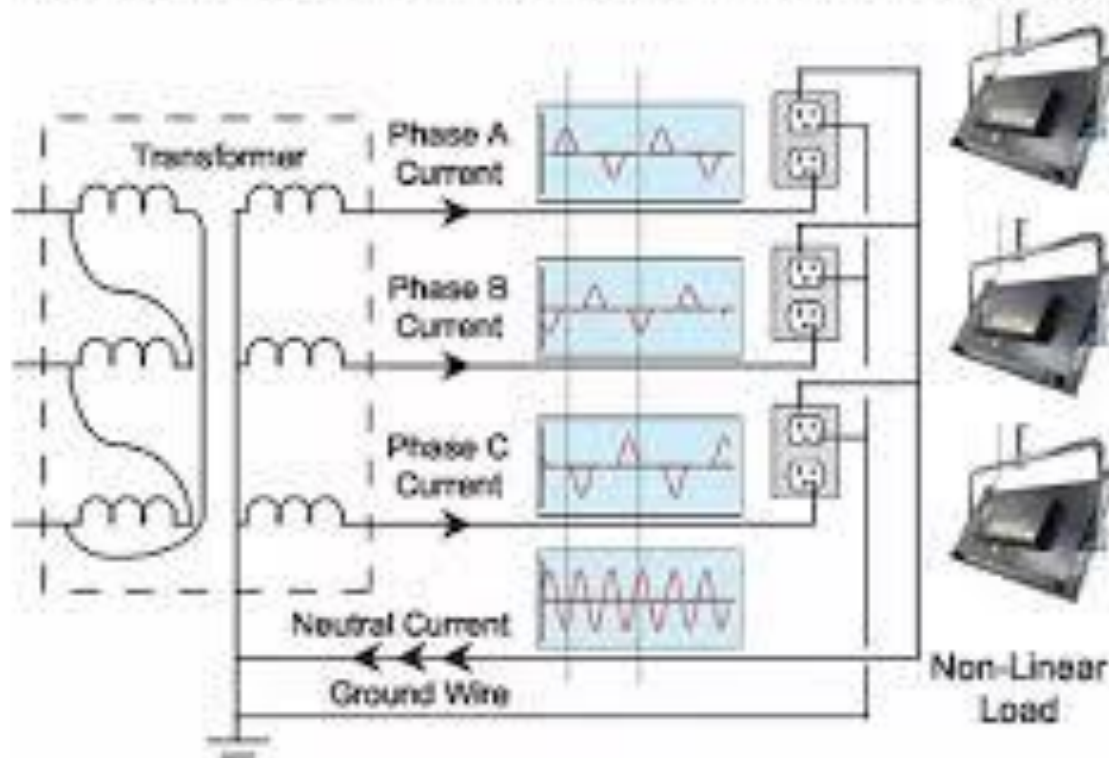
## สายนิวทรัลมีความร้อนสูงเกิน

ในระบบไฟฟ้าสามเฟสที่สมดุลกระแสไลน์จะหักล้างซึ่งกันและกัน ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในสายนิวทรัล แต่หากเกิดฮาร์มอนิกเลขคี่คูณสาม (Triplen Harmonic คือ ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 9, 15,...) จะทำให้เกิดกระแสไหลในสายนิวทรัล

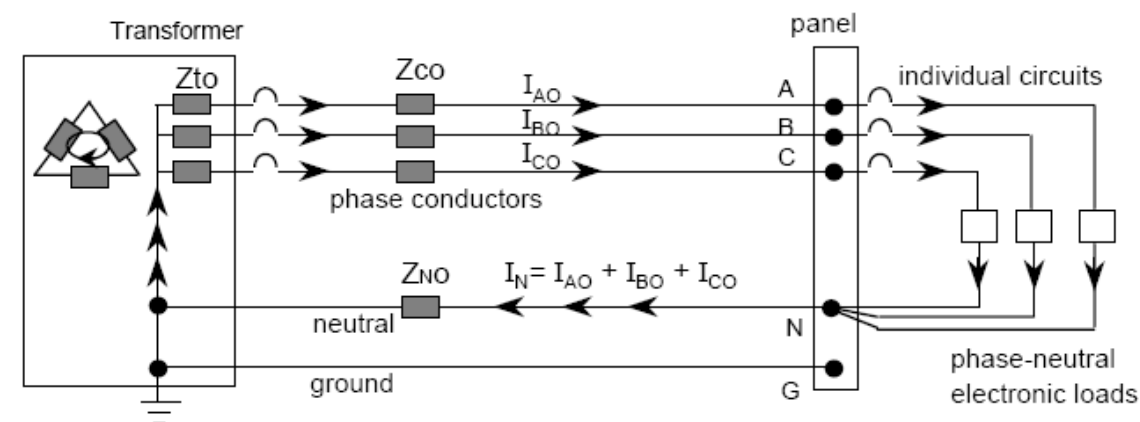




## Triplen Harmonics Add Up Cumulatively in Neutral Conductors with Single-phase Nonlinear Loads in Four-wire System



Above thermal images show an overheated neutral bus bar caused by third order, zero sequence harmonic currents.





# Effect of Harmonic on Circuit Breaker



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





Instantaneous Samples



Electronic Trip or Solid State Trip

Peak Sensing

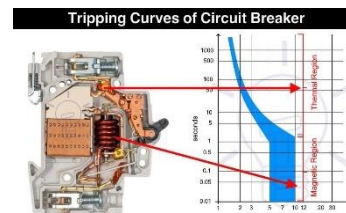
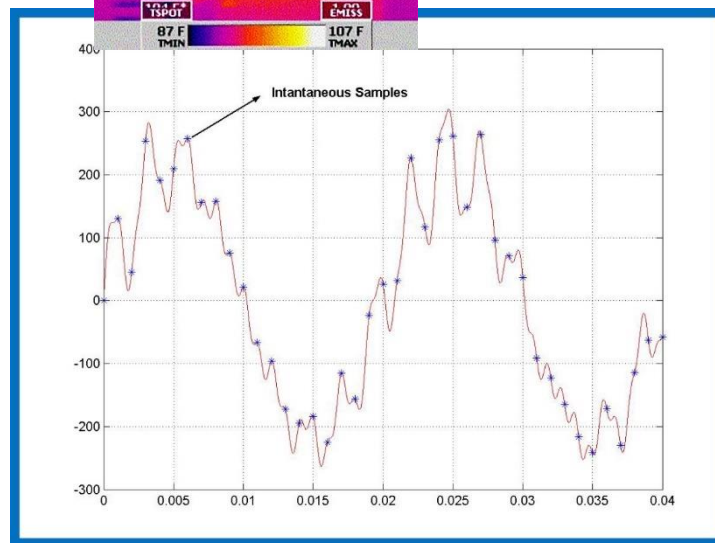
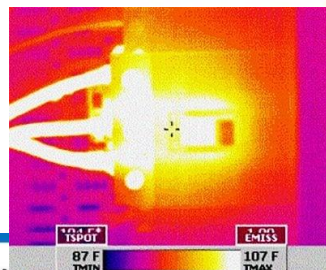
True RMS Sensing

**Trip**

- Under voltage
- Over voltage
- Peak Current

Frequency Effect

Temperatur Effect  
25 - 40°C  
-10 - 60 °C



**เบรกเกอร์ร้อนหรือทริปโดยไม่มีสาเหตุ**

ฮาร์มอนิกที่มีลำดับจัดอยู่ในกลุ่ม Negative Sequence เช่น อันดับที่ 5, 11, 17 ซึ่ง Phase Rotation จะหมุนสวนทางกับ Positive Sequence ส่งผลทำให้เกิดความร้อนและทำให้มอเตอร์เกิดสภาวะ Reverse Rotation Magnetic Field เนื่องจากมีแรงมาต้านการหมุนของ Rotor นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการเสียสมดุลของแรงดันไฟฟ้าเป็นผลทำให้ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เสียสมดุลไปด้วยแต่ปกติแล้ว อัตราการเสียสมดุลของกระแสไฟฟ้าจะมากกว่าแรงดันไฟฟ้า การเสียสมดุลส่งผลให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง





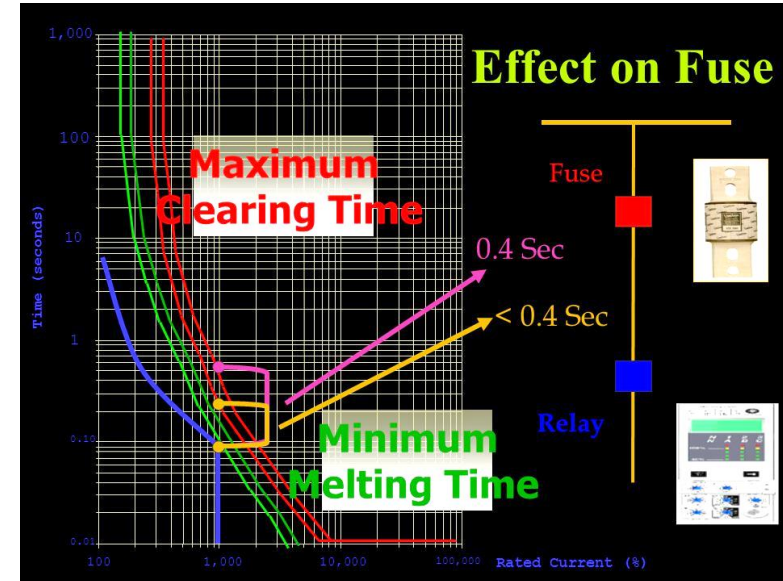
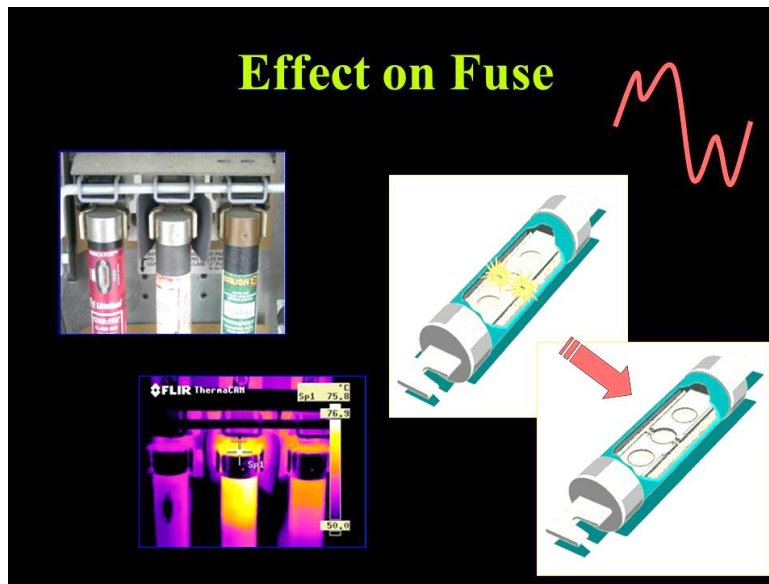
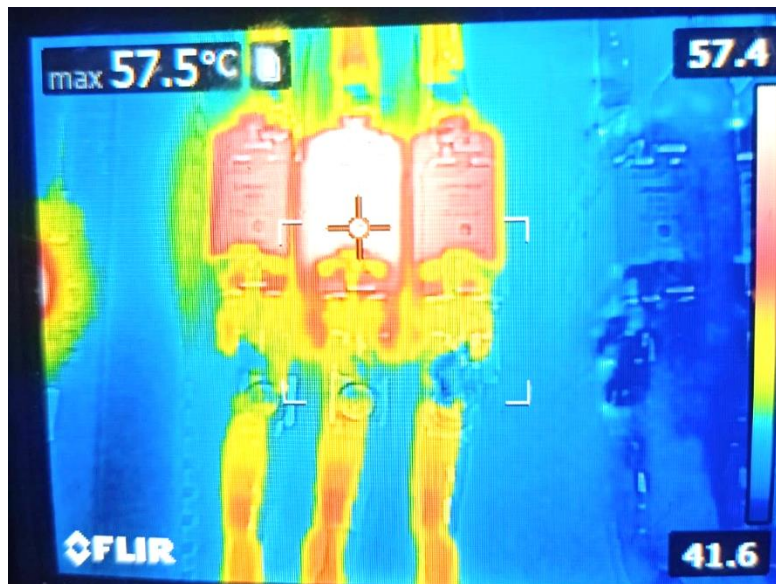
# Effect of Harmonic on Power Fuse



*Dr. Suwilai Phumpho    Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

## ฟิวส์ร้อนหรือขาดบ่อย

กระแสฮาร์มอนิกจะทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นในตัว Fuse ดังนั้น Fuse อาจจะขาดได้ทั้ง ๆ ที่กระแสไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานยังไม่สูงเกินพิกัด นอกจากนั้นกระแสฮาร์มอนิกยังอาจทำให้ลักษณะเวลา-กระแส (Time-Current Characteristic) ของ Fuse เปลี่ยนแปลงไป เช่น ทำให้ระยะเวลาในการหลอมละลายของ Fuse สั้นลง





# Effect of Harmonic on Power Factor



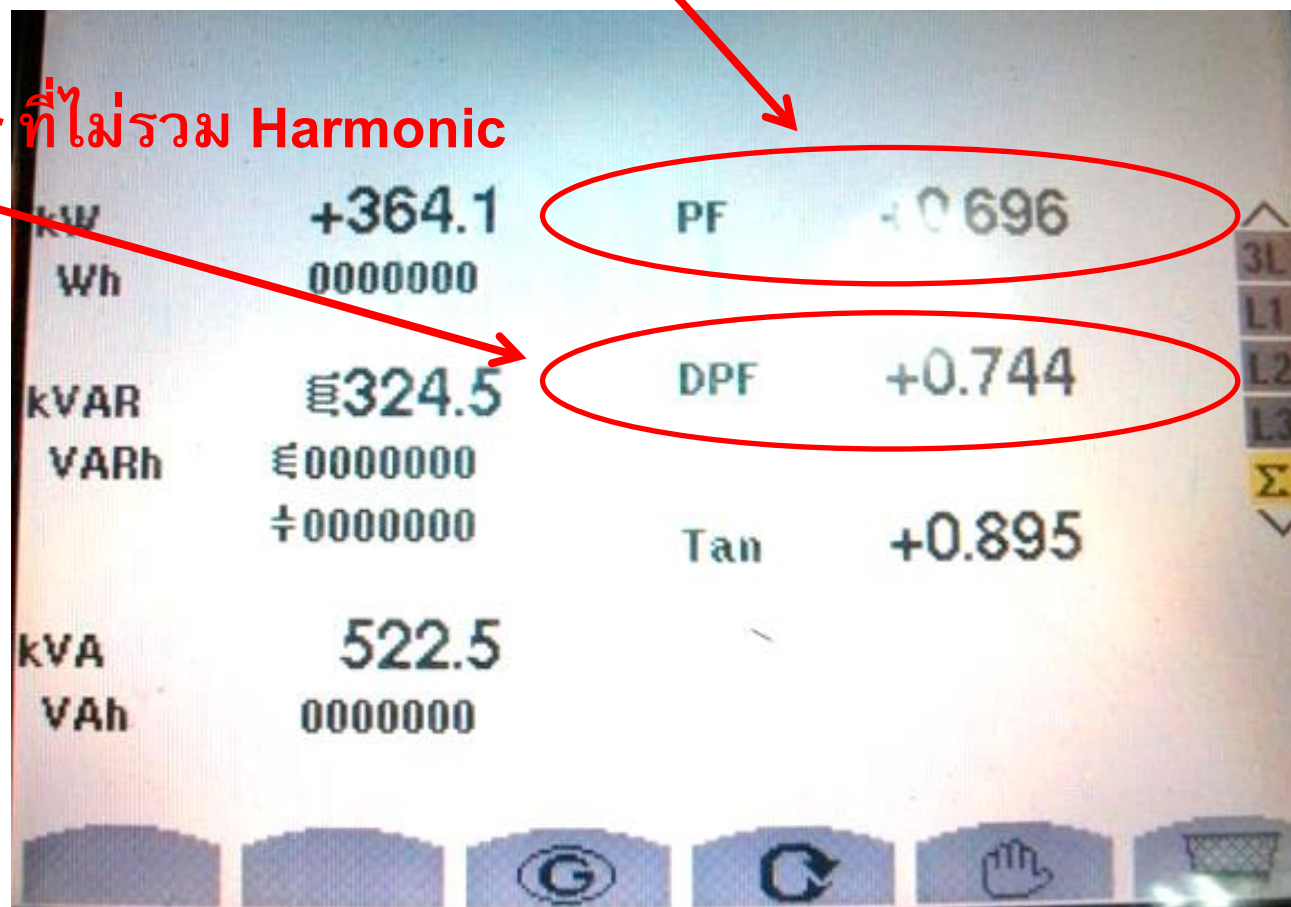
*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





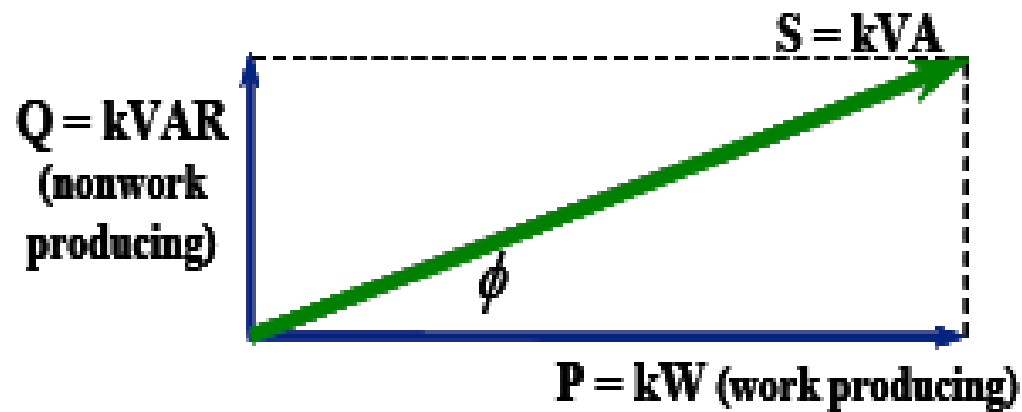
ค่า Power Factor ที่รวม Harmonic

ค่า Power Factor ที่ไม่รวม Harmonic





## With Linear Loads



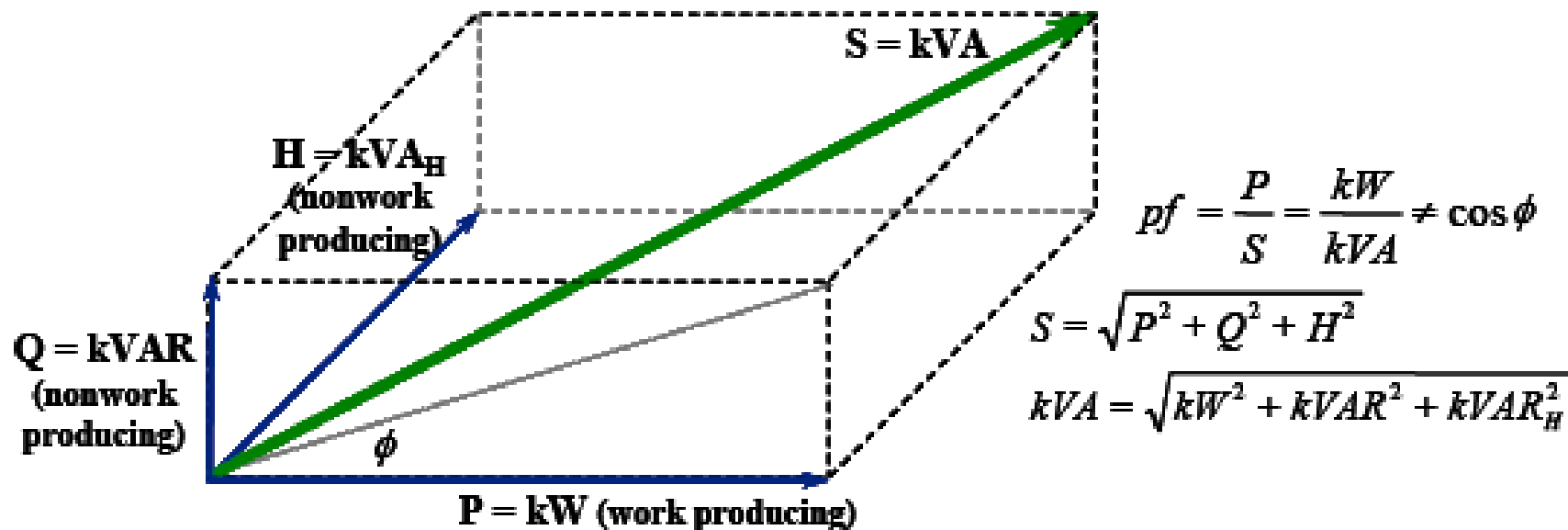
$$pf = \frac{P}{S} = \frac{kW}{kVA} = \cos \phi$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$kVA = \sqrt{kW^2 + kVAR^2}$$



## With Non-linear Loads



True Power Factor = (Displacement Power Factor) x (Distortion Power Factor)





**Electronic Equipment → such as PLC have to voltage distortion less than 5% (IEEE)**

**Metering → incorrect measurement because of it operate at fundamental frequency**

**Relay → operate slower and/or with higher pickup values**

**Telephone Interference → Harmonic order over 20 disturb the telephone and wireless system**

## **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานผิดพลาด**

ความผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิกแรงดันส่งผลให้เกิดรูปคลื่นรอยบาก (Voltage Notching) และเกิดจังหวะตัดผ่านแกน 0 มากกว่า 2 ครั้งในแต่ละไซเคิล ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้การนับจังหวะแรงดันตัดแกน 0 ในการควบคุมการทำงานเกิดการทำงานผิดพลาด เช่น เครื่องนับเวลาแสดงผลเร็วกว่าปกติ

## **รบกวนระบบสื่อสาร**

ทำให้คุณภาพของการส่งข้อมูลข่าวสารลดลง ระบบสื่อสารที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับระบบไฟฟ้ากำลังอาจถูกรบกวนจากผลของฮาร์โมนิกได้

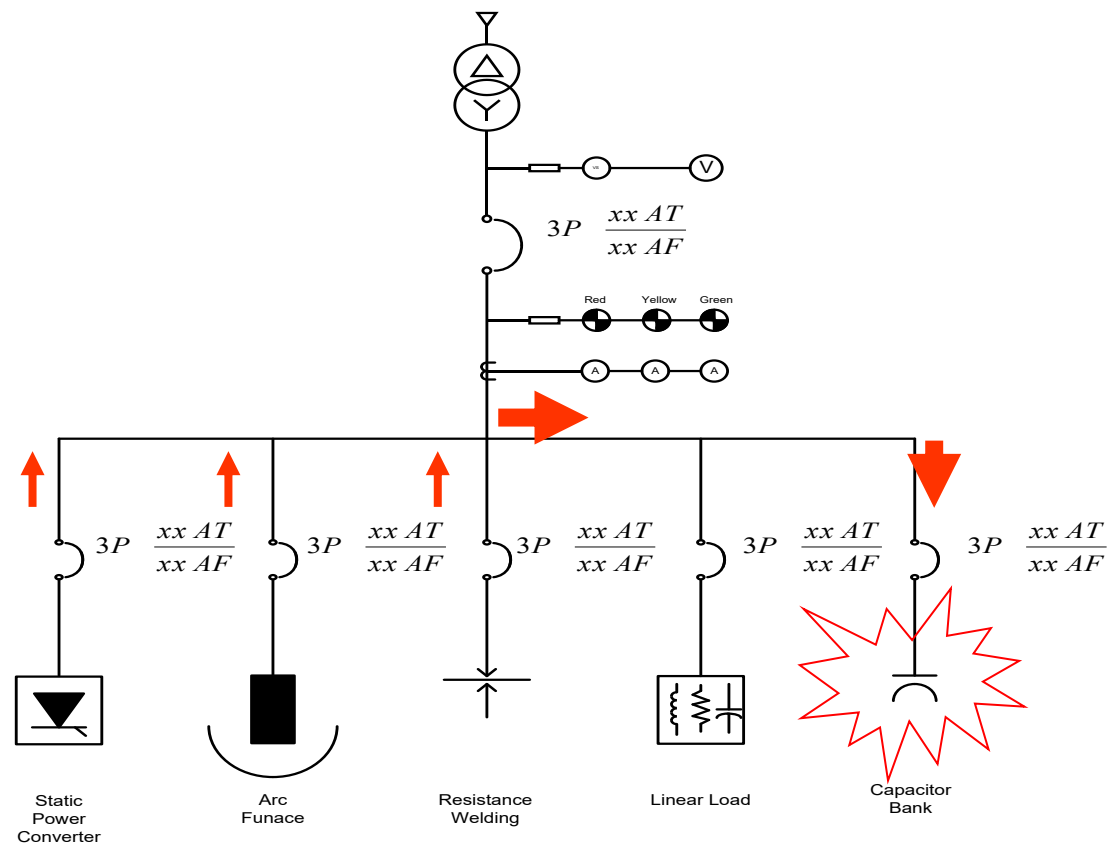




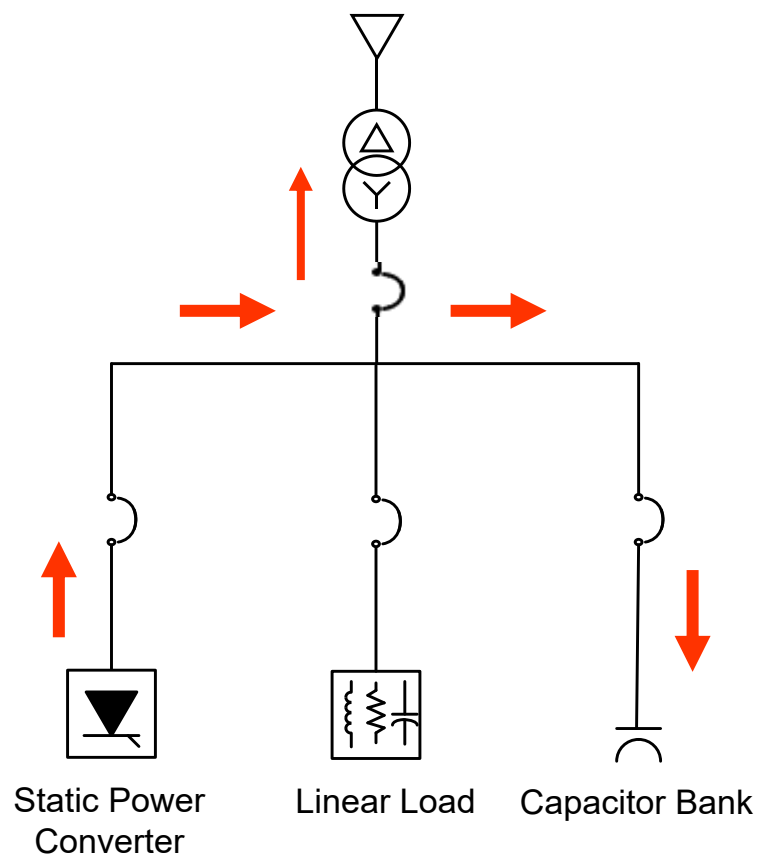
# Effect of Harmonic on Capacitor Bank



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





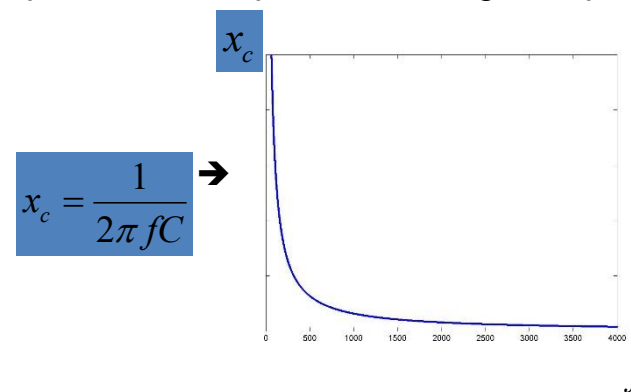


Flow of Harmonic Current

Harmonic current  $\xrightarrow{\text{FLOW}}$  Low Impedance

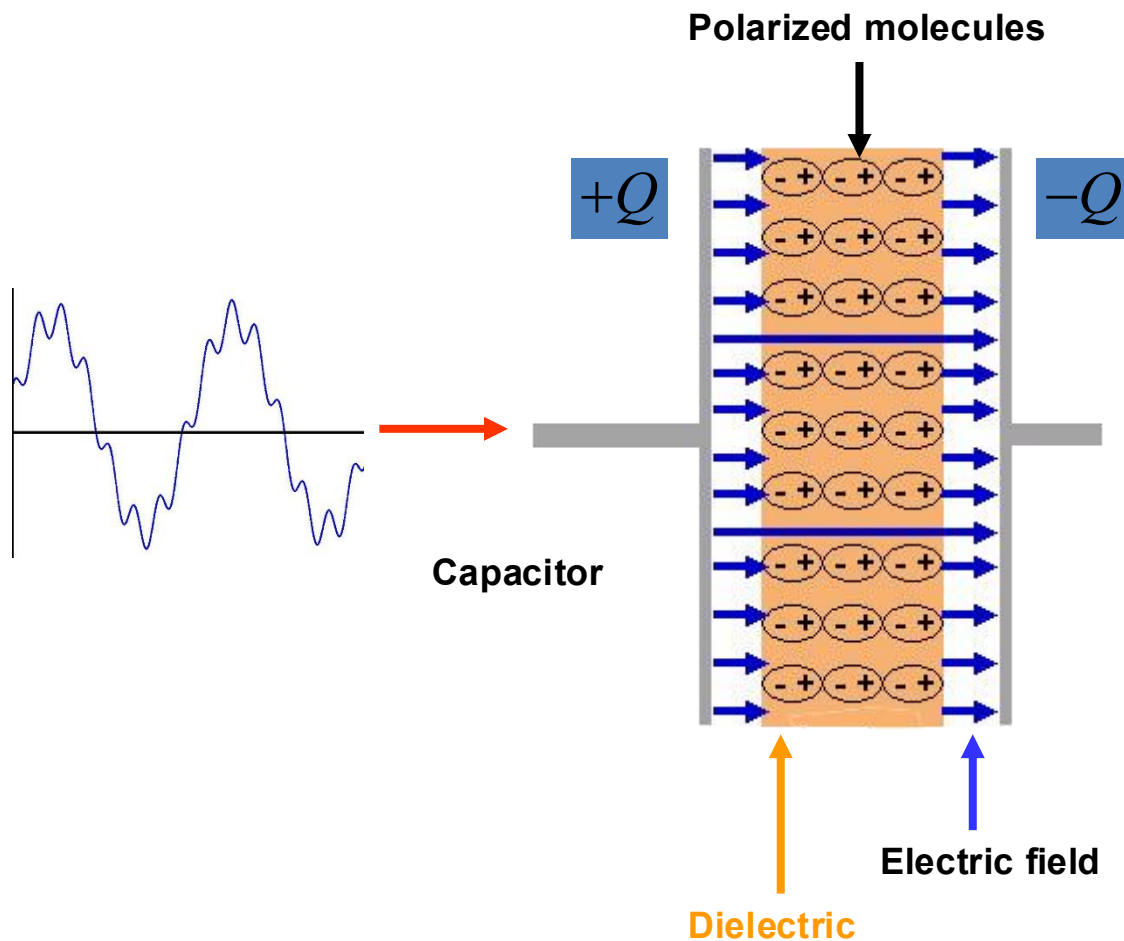
when

- impedance utility source < impedance load
- capacitor low impedance at high frequency



Therefore:

Harmonic current flow to Capacitor bank



### Effect of Harmonic Current and Voltage

- Heat in Dielectric
- Dielectric Stress

**Result: Short Capacitor Life**

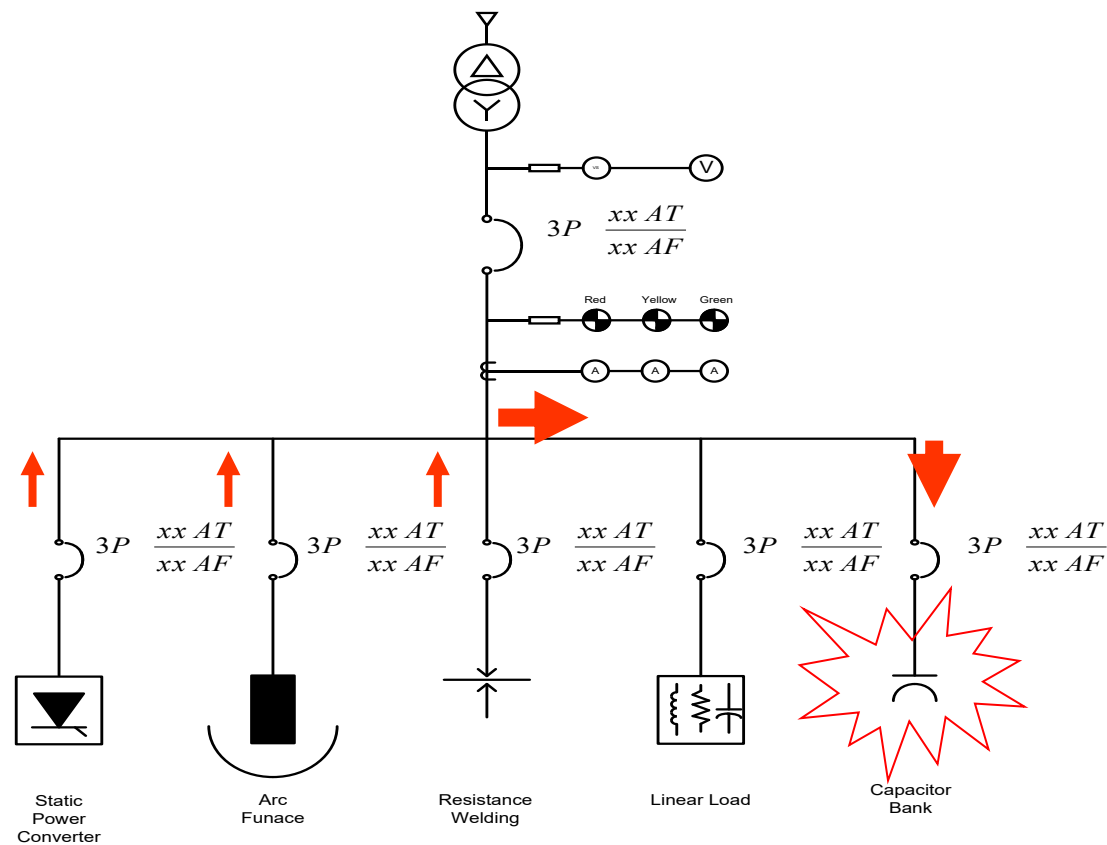


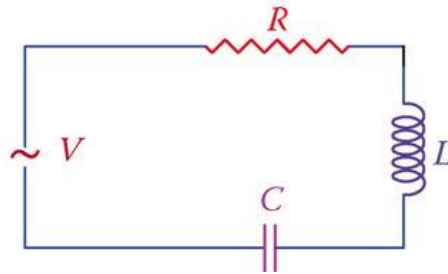
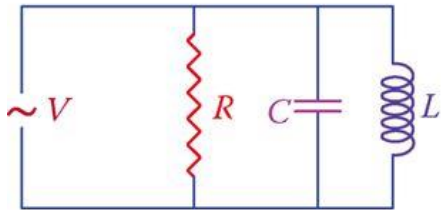
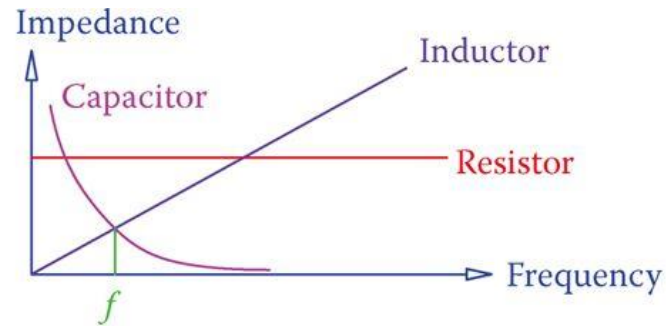
# Effects of Harmonic Resonance



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า  
Dr. Pichet Thainiyom





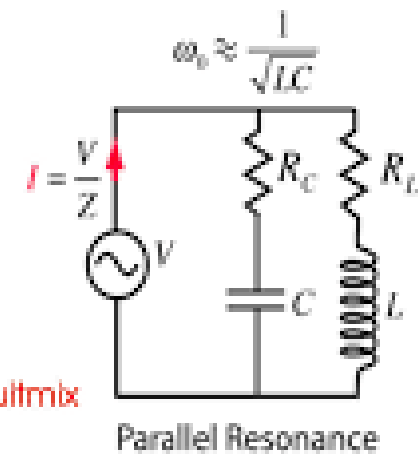
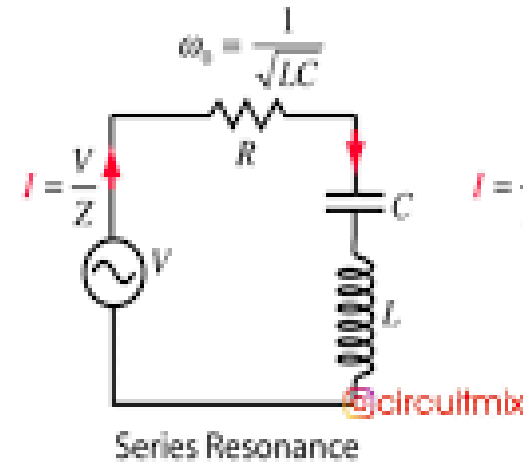


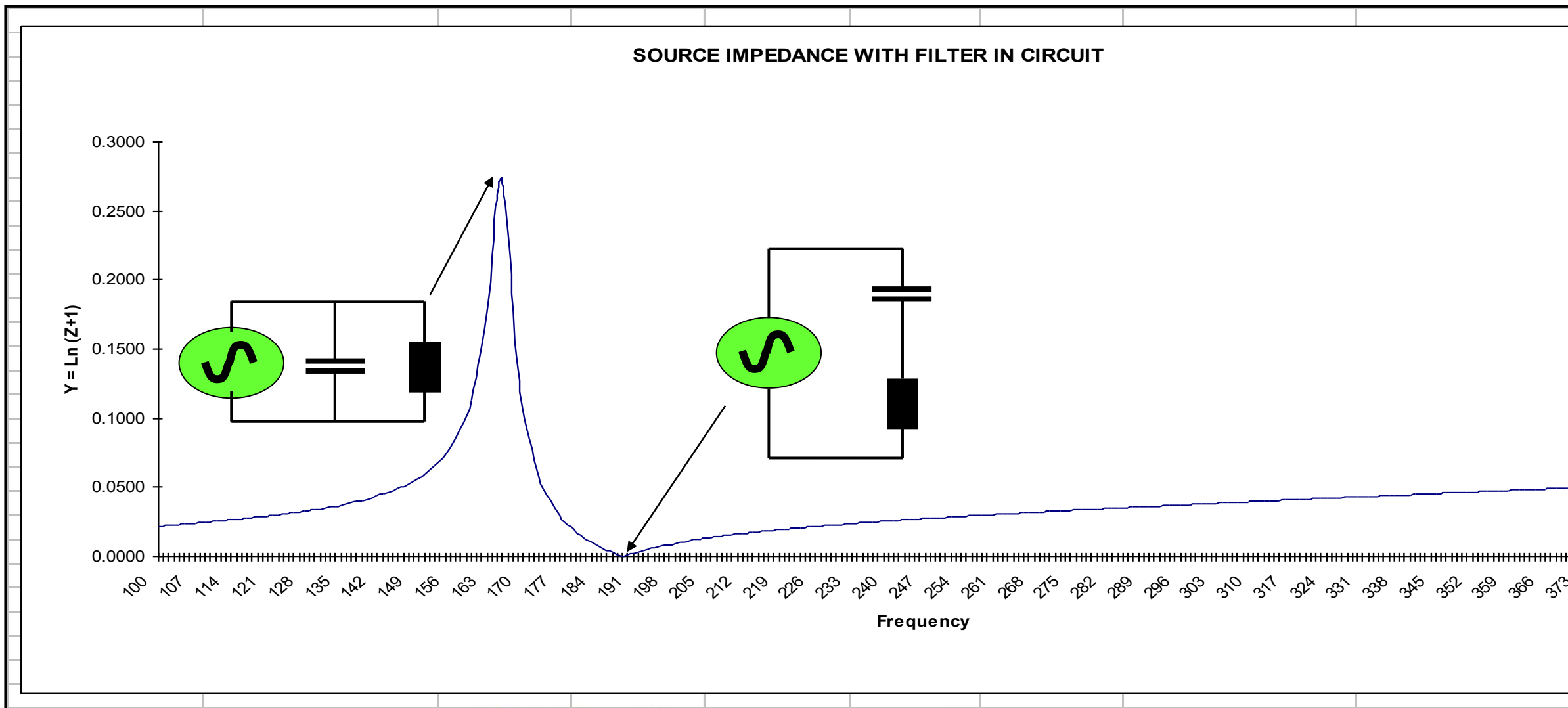
$$f_{\text{resonant}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

## Resonance

Minimum impedance  
at resonant frequency

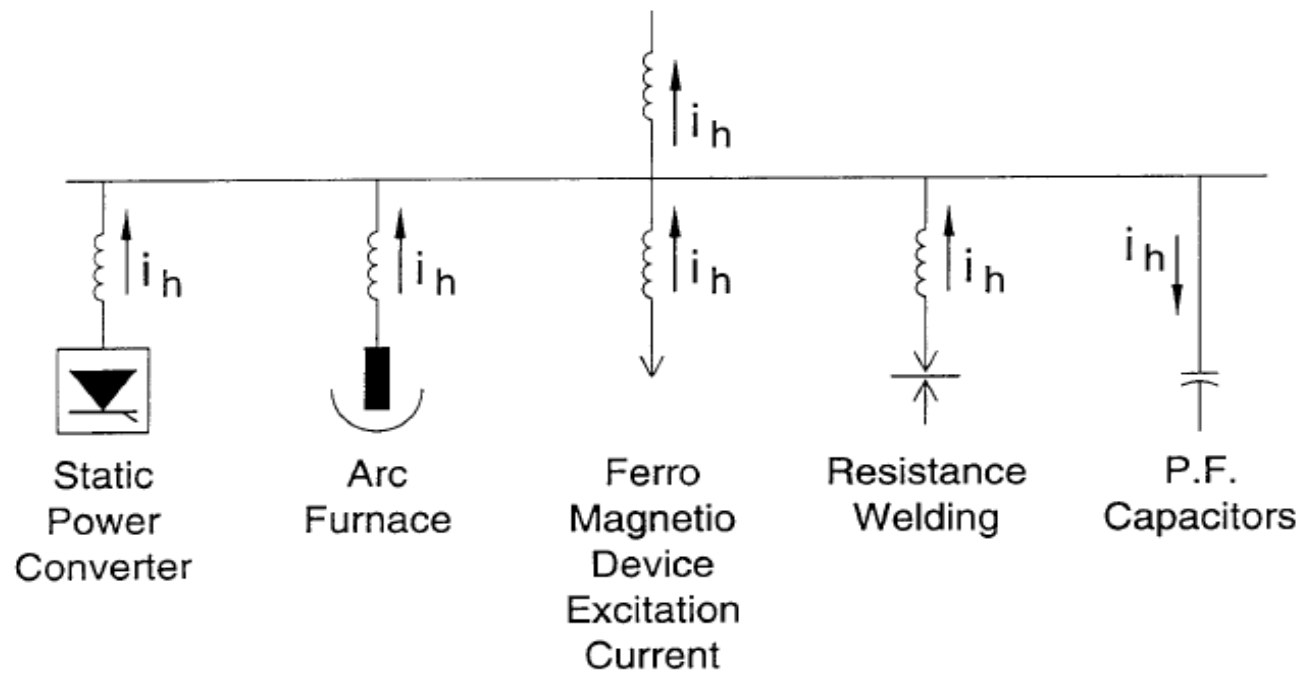
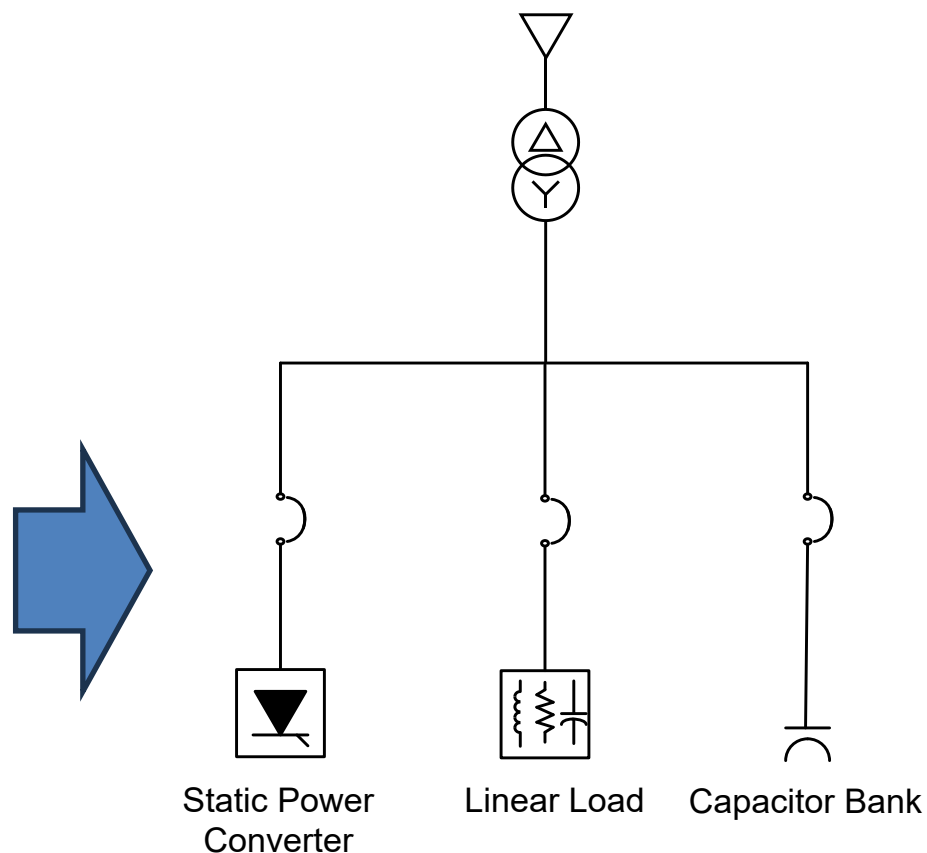
Maximum impedance  
at resonant frequency







## Parallel Resonance Effect



**Fig 8.1**  
**Modeling Nonlinear Loads by Current Sources**

## Parallel Resonance Effect

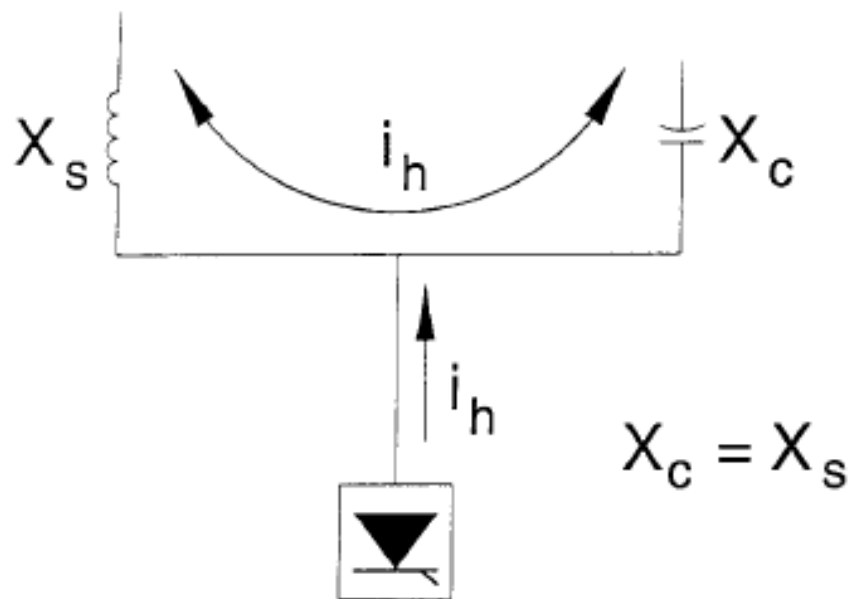


Fig 5.2

Parallel Resonance Condition

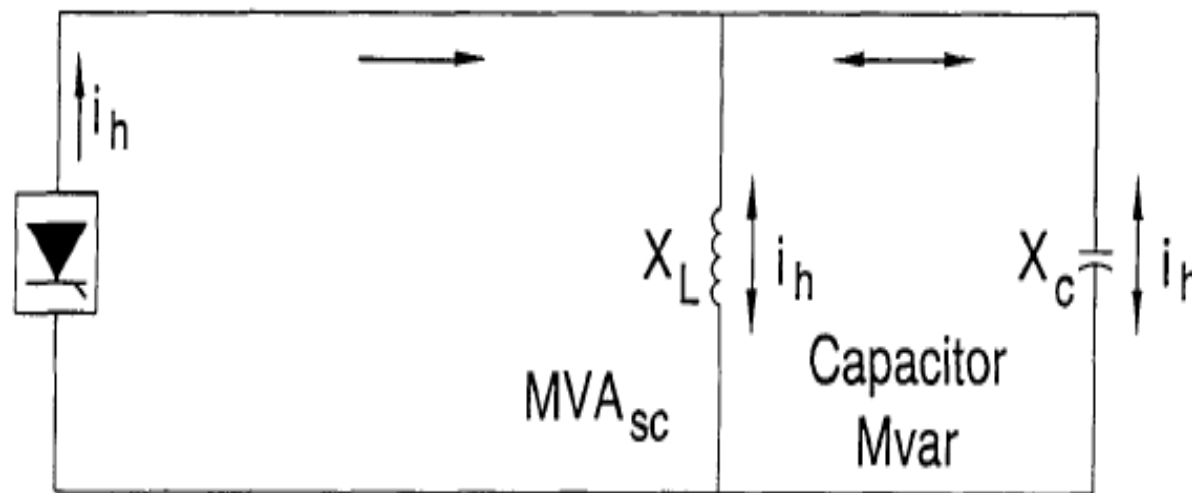
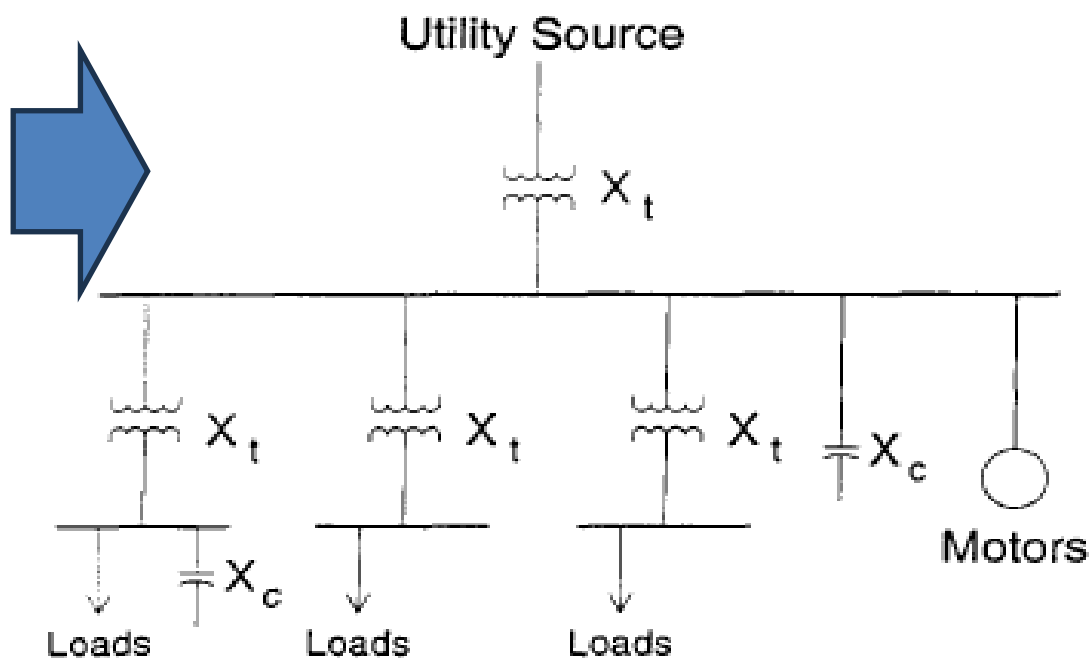


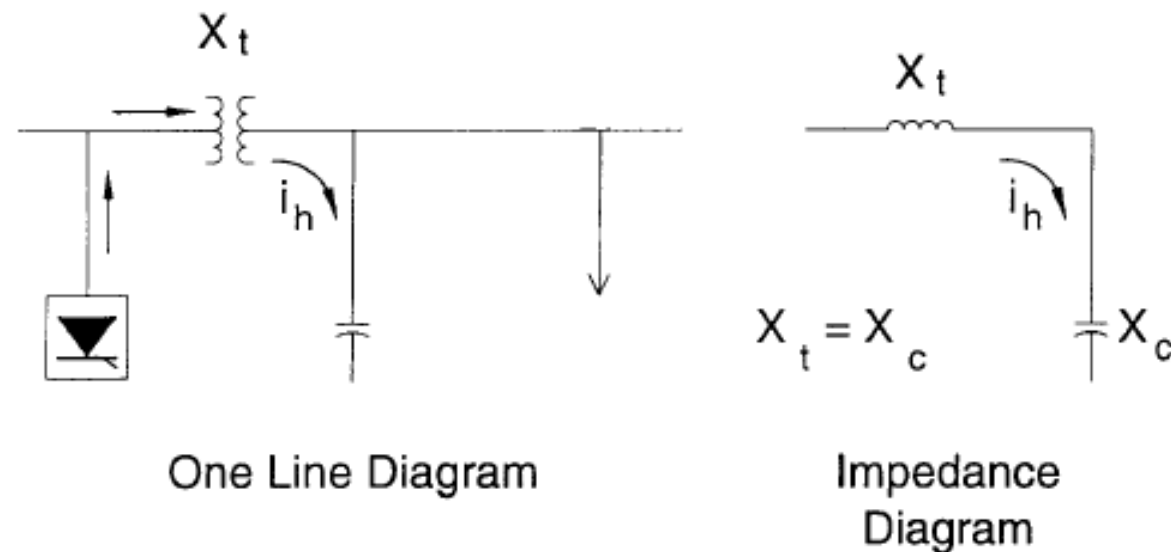
Fig 8.2

Simple Circuit for Hand Calculations

## Series Resonance Effect



**Fig 5.7**  
**Typical Industrial Power System**

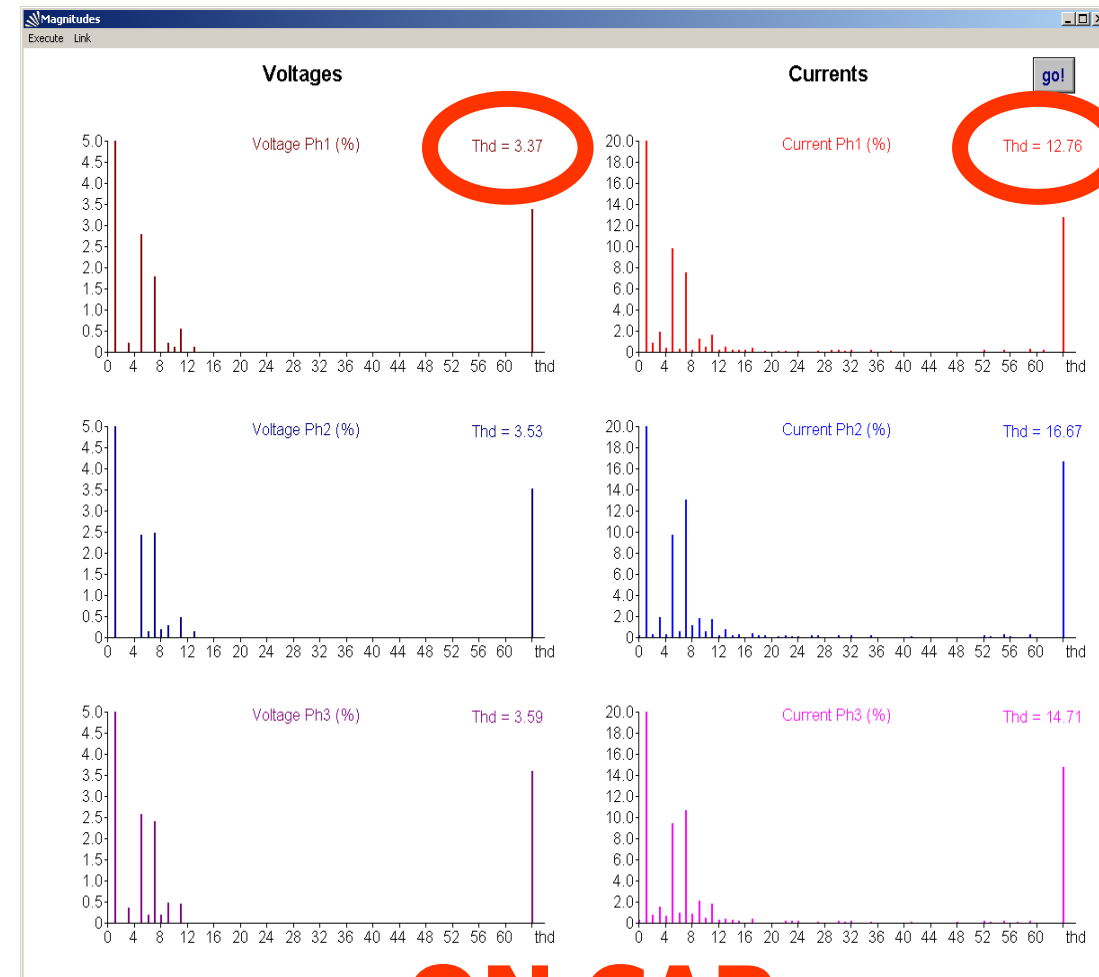
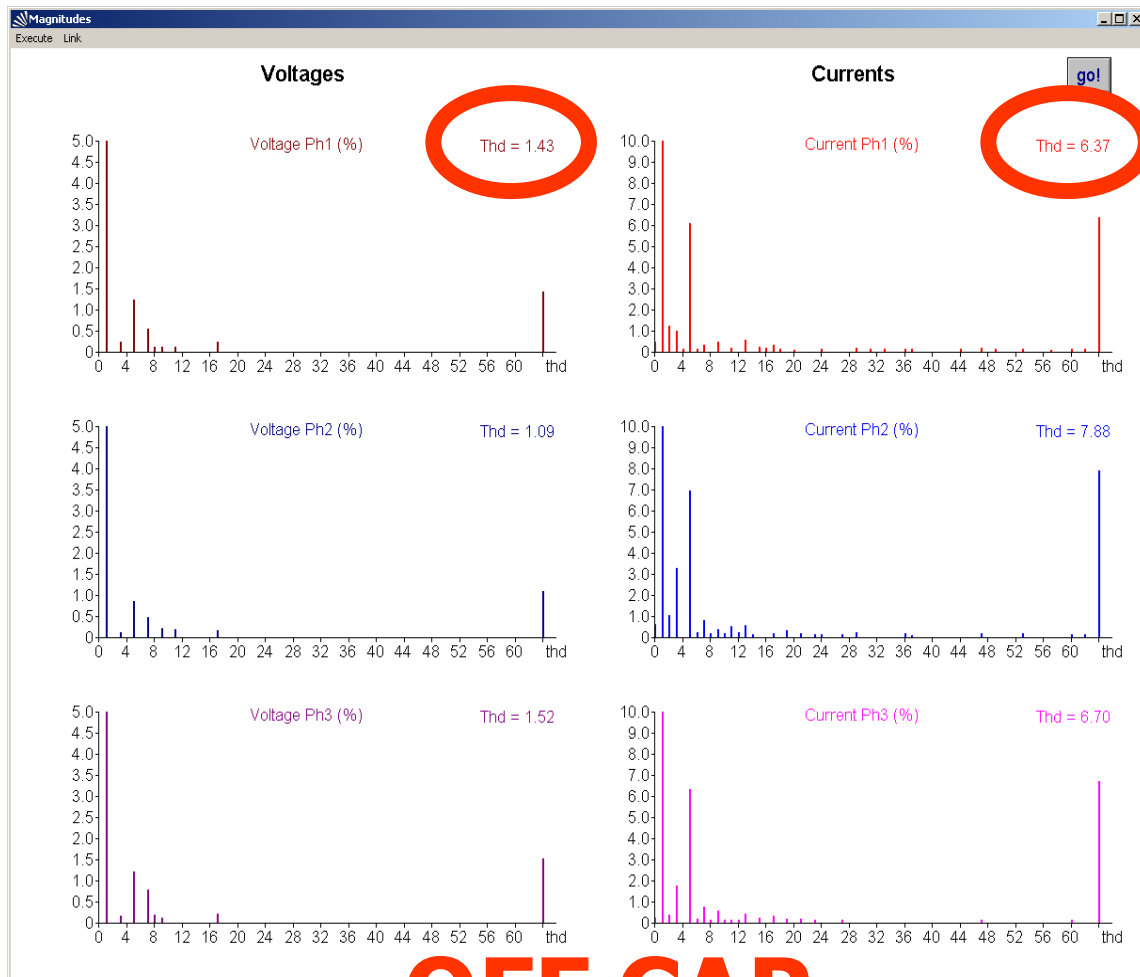


**Fig 5.3**  
**Capacitor Bank Resulting in Series Resonance**





## Corection and Harmonics Elemination



**OFF CAP**

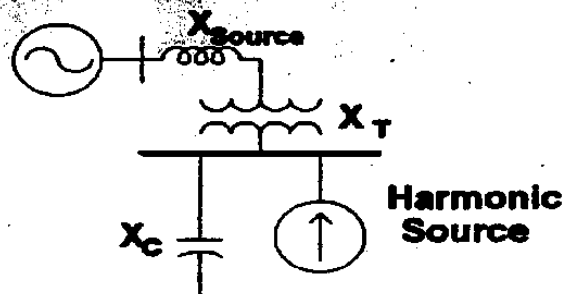
**ON CAP**



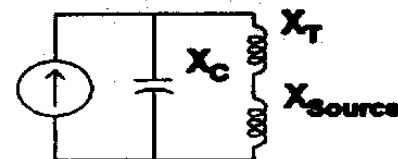
| Harmonic Distortion (%) |         | Capacitor OFF | Capacitor On |
|-------------------------|---------|---------------|--------------|
| THDI                    | Phase 1 | 6.37          | 12.76        |
|                         | Phase 2 | 7.88          | 16.67        |
|                         | Phase 3 | 6.70          | 14.71        |
| THDV                    | Phase 1 | 1.43          | 3.37         |
|                         | Phase 2 | 1.09          | 3.57         |
|                         | Phase 3 | 1.52          | 3.59         |

## ➤ Parallel Resonance Effect

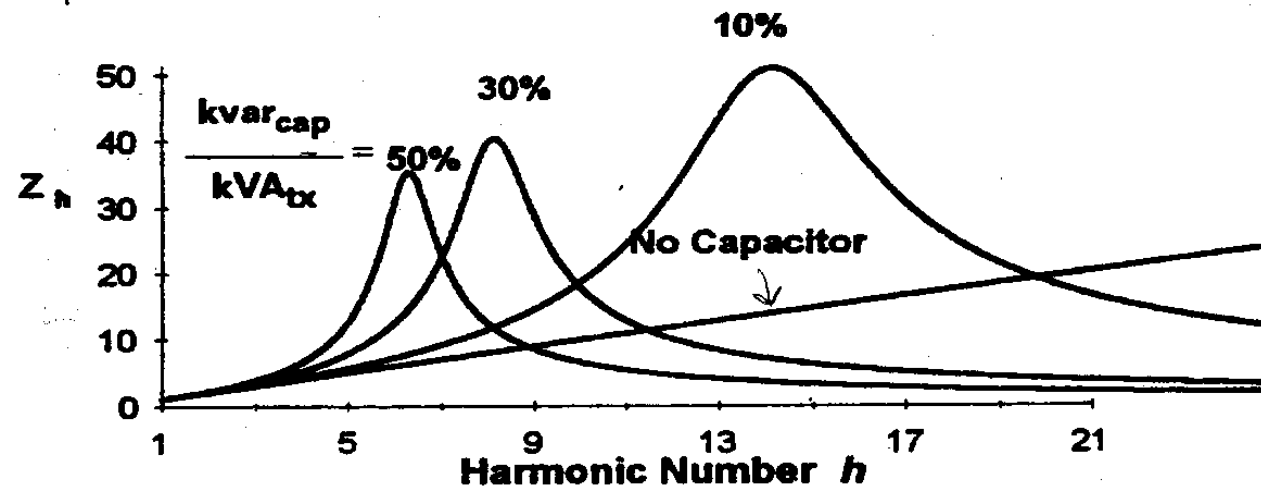
(a) System with potential for problem parallel resonance



(b) Equivalent circuit



(c) System frequency response as capacitor size is varied in relation to transformer ( $Z_1 = 1.0$ )



Effect of capacitor size on parallel resonant frequency.





## ➤ Parallel Resonance Effect

### Resonance Point

$$h_r = \sqrt{\frac{X_c}{X_s}} = \sqrt{\frac{\text{MVA}_{sc}}{\text{MVar}_{cap}}} \approx \sqrt{\frac{\text{kVA}_{Tr} \times 100}{\text{kVar}_{cap} \times \%Z_{Tr}}}$$

$h_r$  = resonant harmonic

$X_c$  = capacitor reactance (Ohms per phase at 50 Hz)

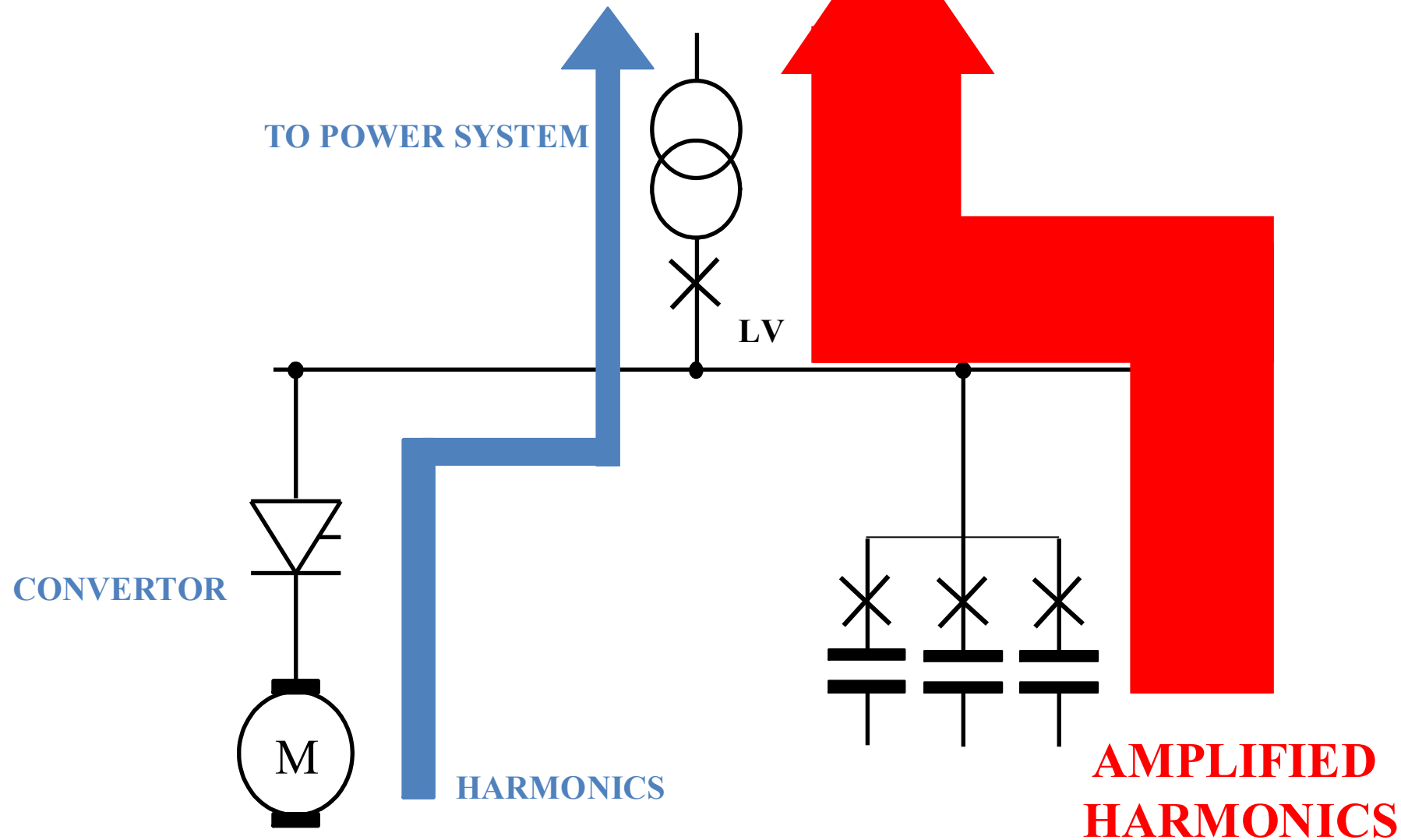
$X_s$  = System short - circuit reactance (Ohms per phase at 50 Hz)

$\text{MVA}_{sc}$  = System short - circuit MVA

$\text{MVAr}_{cap}$ ,  $\text{kVAr}_{cap}$  =  $\text{MVar}$ ,  $\text{kVar}$  rating of capacitor bank

$\text{kVATr}$  = kVA rating of transformer

$\%Z_{Tr}$  = transformer impedance (Ohms per phase at 50 Hz)





## ➤ Parallel Resonance Effect



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**



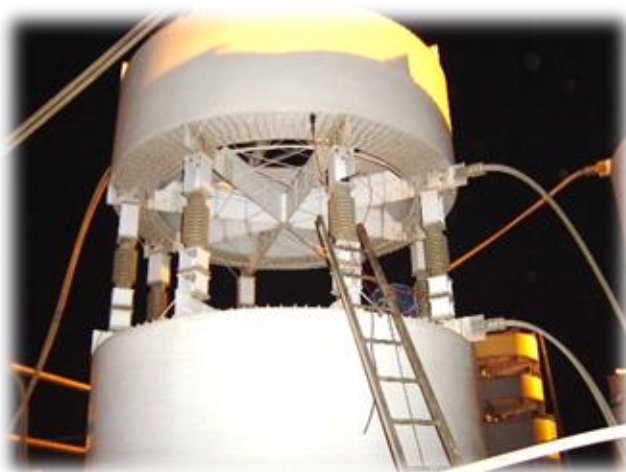
Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





# How to Improve Power Factor in The Harmonic Power System?

➤ Detuned Capacitor Bank

➤ Static Var Generator (SVG)

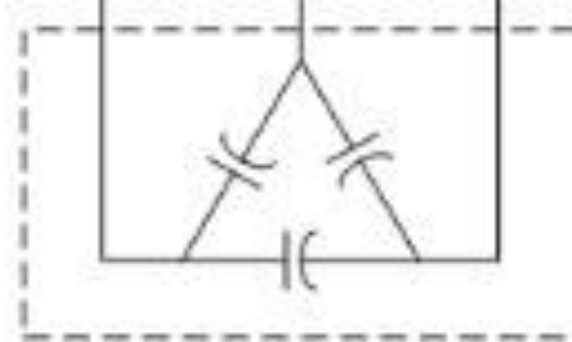




## 400 Voltage Bus

single-phase or  
three-phase reactor

$X_{\text{filter}}$



three-phase (delta connected)  
low voltage capacitor bank

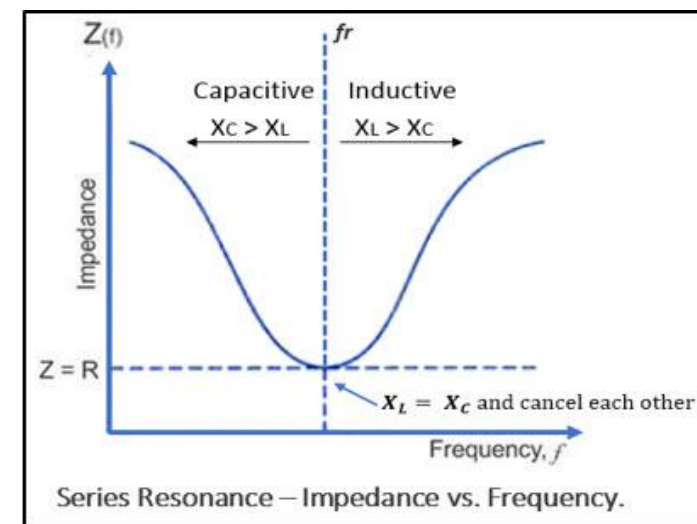
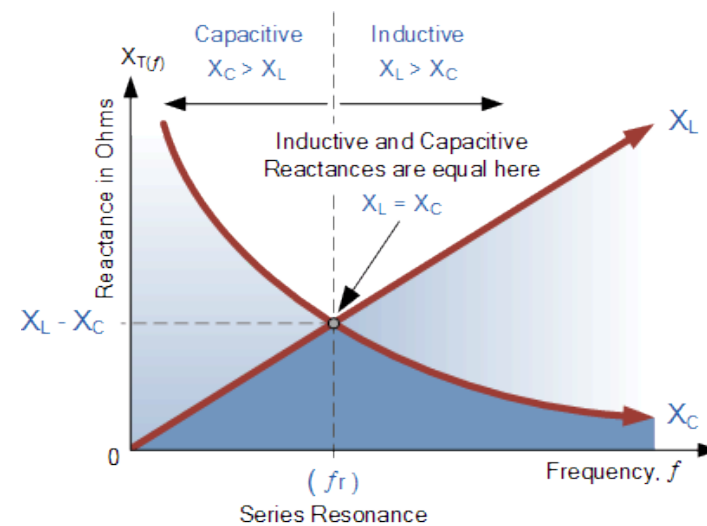
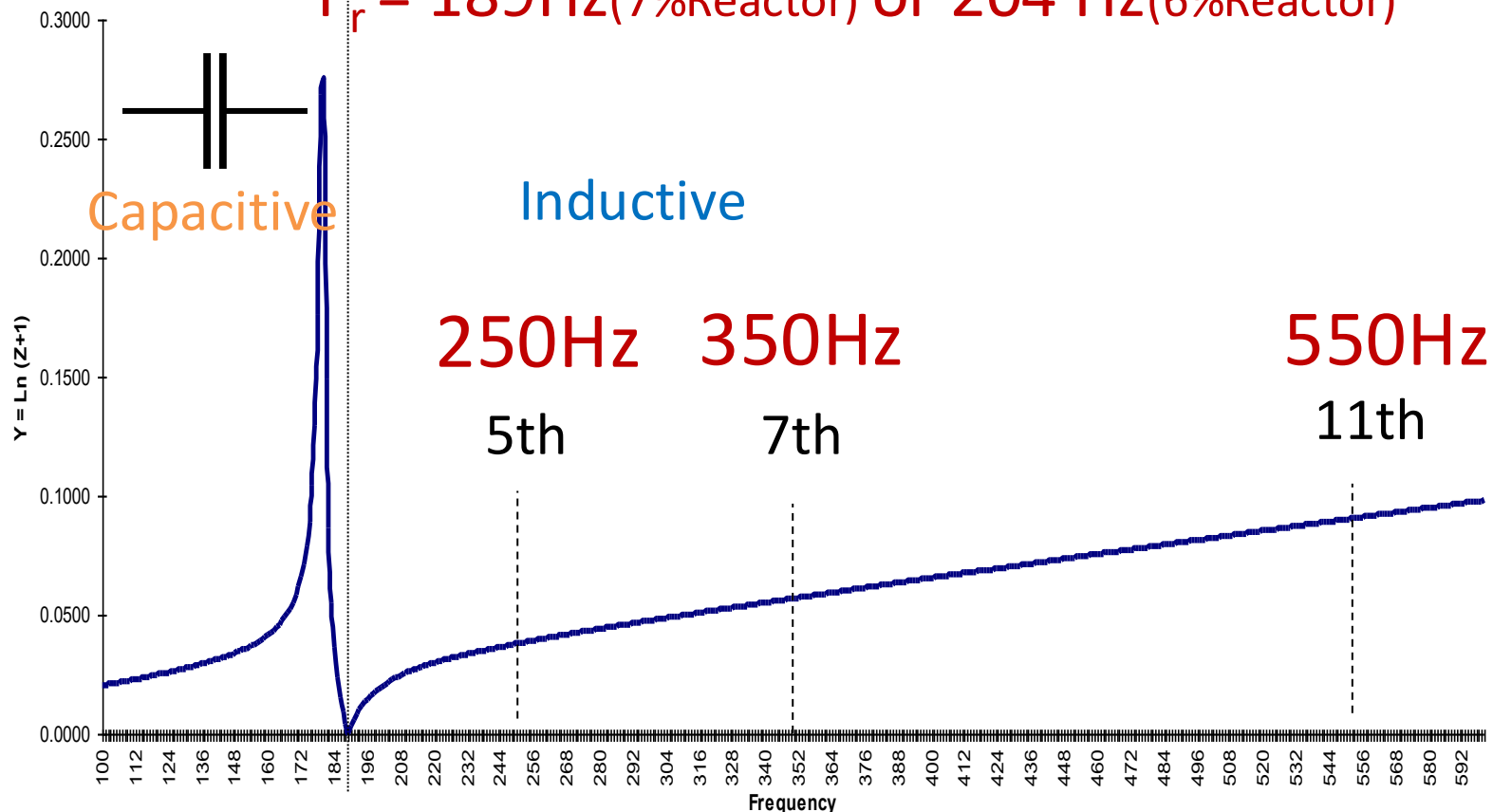
$(X_c)$





## SOURCE IMPEDANCE WITH FILTER IN CIRCUIT

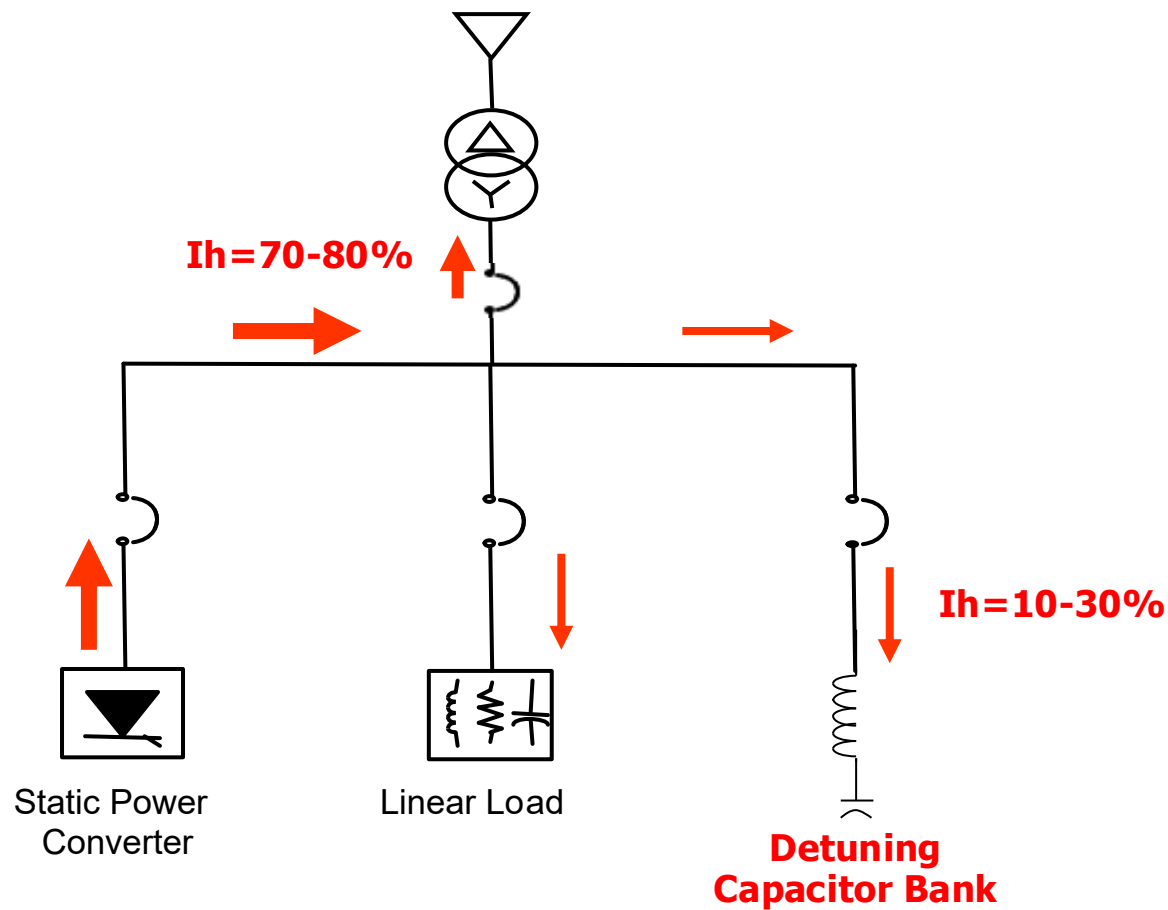
$F_r = 189\text{Hz}(7\%\text{Reactor})$  or  $204\text{ Hz}(6\%\text{Reactor})$

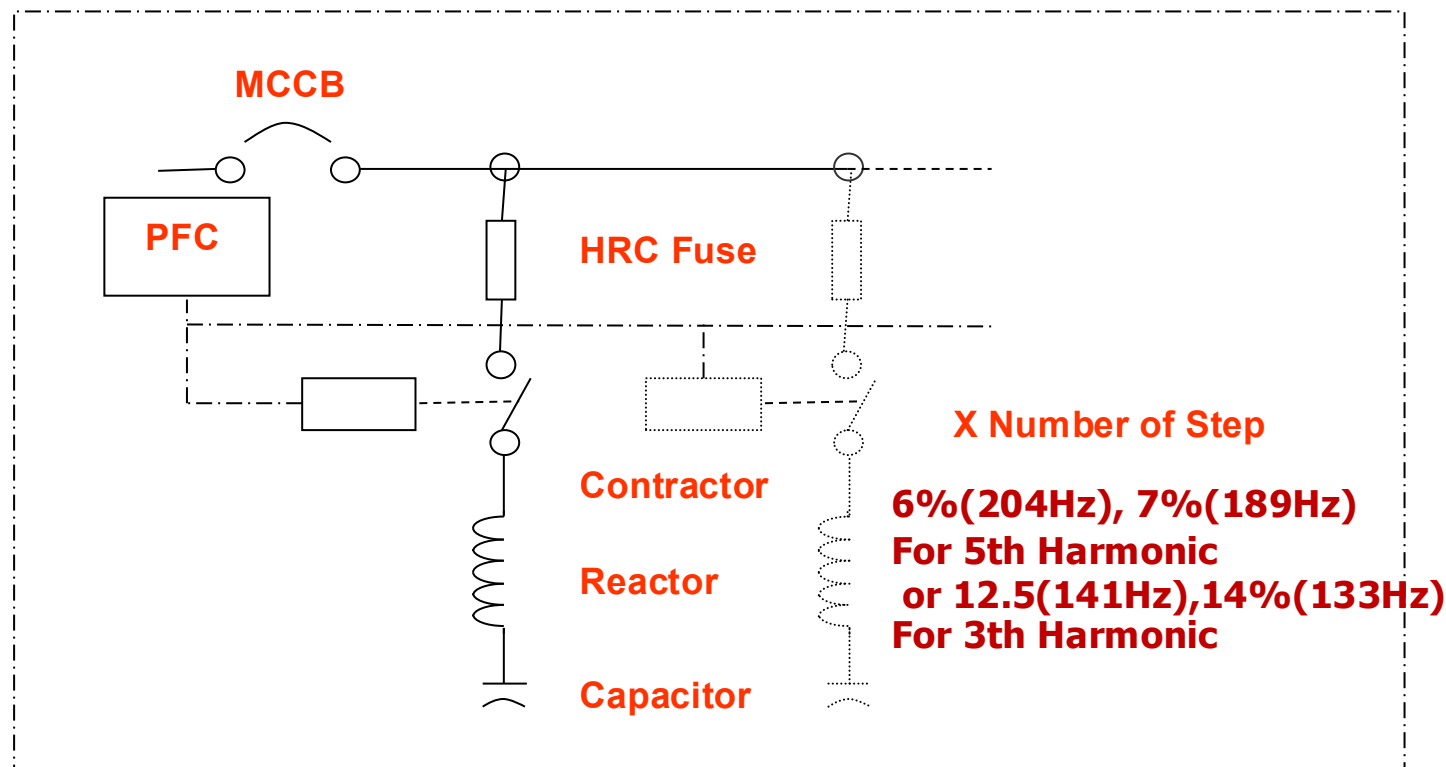


Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน









**Single Line Diagram of Automatic Detuning Filter Bank**





IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**



Orange Green  
Instruments



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน









**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION



IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**

**PHYSIoT**  
PHYSICS & IoT ENGINEERING  
DUAL DEGREE PROGRAM

**AIoT**  
By IoT & Information Engineering  
School of Engineering **KMITL**

**PTES**  
CAPACITOR  
www.ptes.co.th



**A-IAD**  
The Leading Electrical Firm

**VMEC**  
Engineering Co., Ltd.

**ADVANCE**  
Power Electric Co., Ltd.

**GTO**  
GTO TECHNOLOGY CO., LTD.



Orange Green  
Instruments



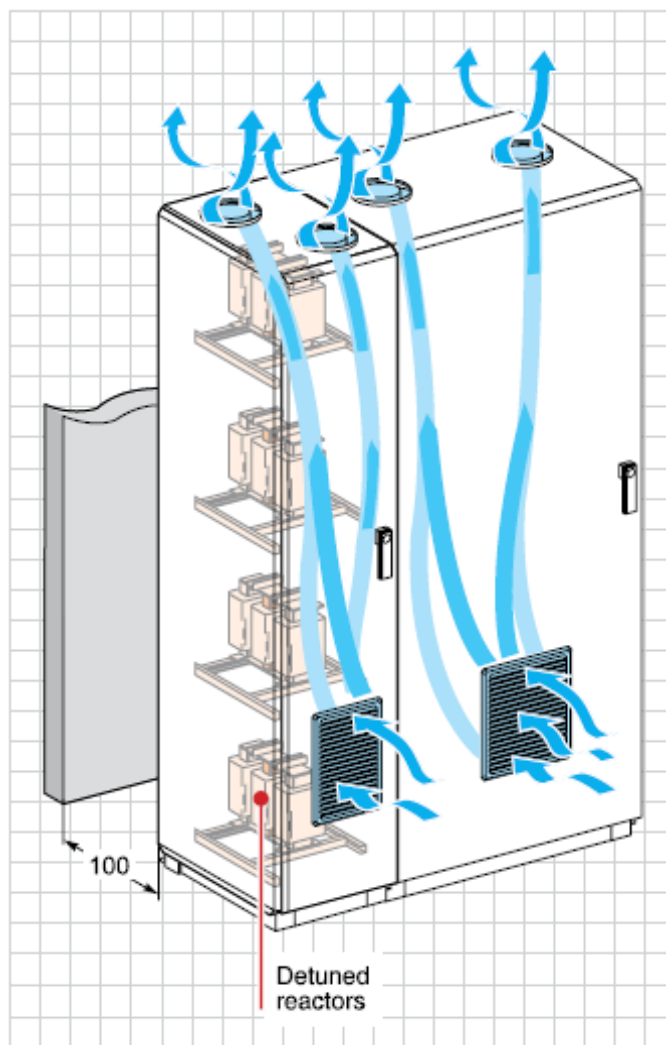
Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





Dr. Suwilai Phumppo Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





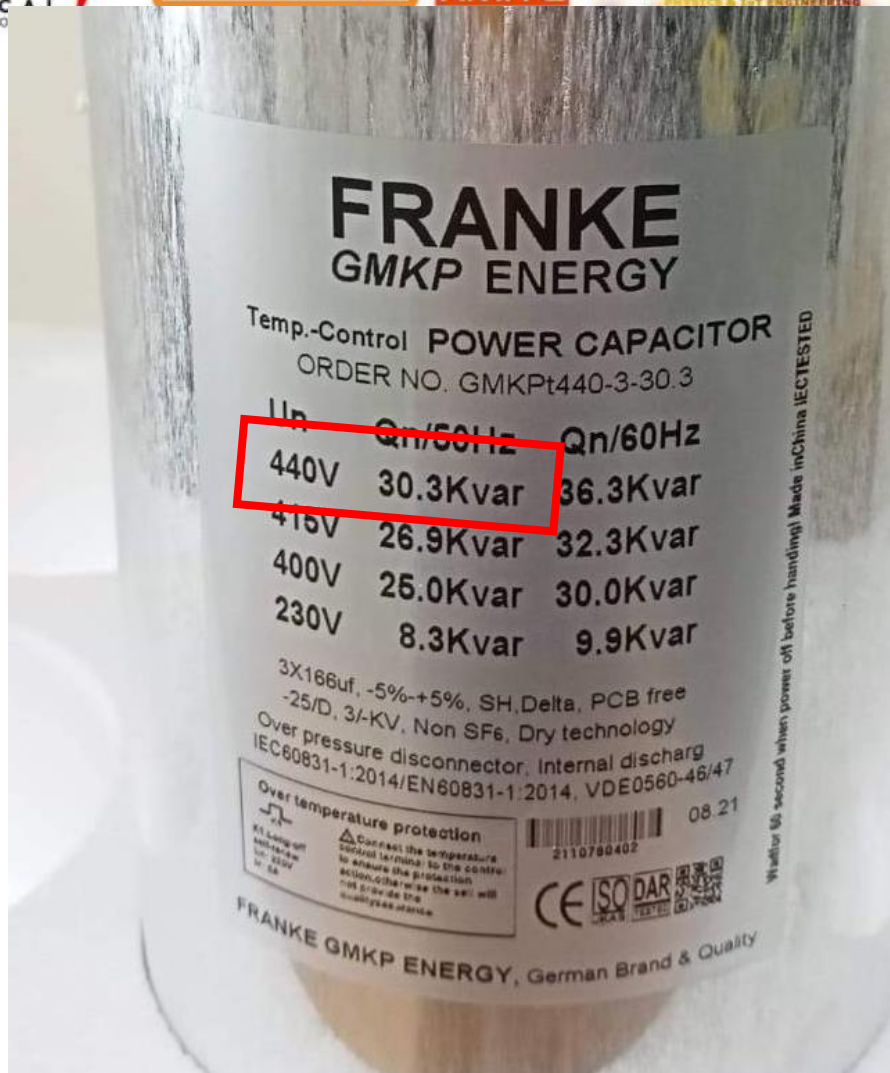


| DETUNED FILTER REACTOR                              |          |                  |           |
|-----------------------------------------------------|----------|------------------|-----------|
| Serial No.                                          | 55051176 | Ref. No.         | P55-E 154 |
| Type                                                | RE-0225  | Phase            | 3         |
| Network voltage                                     | 400 V    | Frequency        | 50 Hz     |
| Reactance                                           | 6 %      | I <sub>eff</sub> | 75.18 A   |
| Max ambient temp.                                   | 40°C     | Insulation class | F         |
| Designed for 60 kVAR 480 Volt 50 Hz power capacitor |          |                  |           |



| Capacitor                                                            |                       |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Art.Nr                                                               | 9CP100210B1001        |
| Type                                                                 | CLMD 63               |
| U <sub>n</sub>                                                       | 400/415 V / 50 Hz     |
| Q <sub>n</sub>                                                       | 60/65 kvar            |
| U <sub>n</sub>                                                       | 3/15 kV Cat. -25/D °C |
| IEC 60831-1&2                                                        |                       |
| Self-heating, dry use according to IEC, local rules and instructions |                       |
| Service Tel: (662) 655-1000 FAX: (662) 304-0502                      |                       |
| Made in Thailand                                                     | 1204 1205420          |









## การคำนวณพิกัด KVAR ที่พิกัดแรงดันต่างๆ

### Formular

$$Kvar2 = Kvar1 \times \left( \frac{U2}{U1} \right)^2$$

By

U2 Rated voltage is used.

U1 Rated voltage of Cap.

Kvar2 Rated capacitor of U2

Kvar1 Rated capacitor of U1

### Example

40Kvar

Capacitor have rated 400V 525V 3P 50Hz 75Kvar

If you think that will be the Voltage 440V Capacitance is

$$23.2 = \frac{40}{75} \times \left( \frac{440}{525} \right)^2$$

$$= 52.7 \text{ Kvar}$$

|        | 525V   | 480V   | 440V | 400V |
|--------|--------|--------|------|------|
| 5 ⇒    | 4.2    | 3.5    | 2.9  |      |
|        | 5 ⇒    | 4.2    | 3.5  |      |
|        |        | 5 ⇒    | 4.1  |      |
| 7.5 ⇒  | 6.3    | 5.3    | 4.4  |      |
|        | 7.5 ⇒  | 6.3    | 5.2  |      |
|        |        | 7.5 ⇒  | 6.2  |      |
| 10 ⇒   | 8.4    | 7      | 5.8  |      |
|        | 10 ⇒   | 8.4    | 6.9  |      |
|        |        | 10 ⇒   | 8.3  |      |
| 12.5 ⇒ | 10.4   | 8.8    | 7.3  |      |
|        | 12.5 ⇒ | 10.5   | 8.7  |      |
|        |        | 12.5 ⇒ | 10.3 |      |
| 15 ⇒   | 12.5   | 10.5   | 8.7  |      |
|        | 15 ⇒   | 12.6   | 10.4 |      |
|        |        | 15 ⇒   | 12.4 |      |
| 20 ⇒   | 16.7   | 14     | 11.6 |      |
|        | 20 ⇒   | 16.8   | 13.9 |      |
|        |        | 20 ⇒   | 16.5 |      |
| 25 ⇒   | 20.9   | 17.6   | 14.5 |      |
|        | 25 ⇒   | 21     | 17.4 |      |
|        |        | 25 ⇒   | 20.7 |      |
| 30 ⇒   | 25.1   | 21.1   | 17.4 |      |
|        | 30 ⇒   | 25.2   | 20.8 |      |
|        |        | 30 ⇒   | 24.8 |      |
| 40 ⇒   | 33.4   | 28.1   | 23.2 |      |
|        | 40 ⇒   | 33.6   | 27.8 |      |
|        |        | 40 ⇒   | 33.1 |      |
| 45 ⇒   | 37.6   | 31.6   | 26.1 |      |
|        | 45 ⇒   | 37.8   | 31.3 |      |
|        |        | 45 ⇒   | 37.2 |      |
| 50 ⇒   | 41.8   | 35.1   | 29   |      |
|        | 50 ⇒   | 42     | 34.7 |      |
|        |        | 50 ⇒   | 41.3 |      |
| 60 ⇒   | 50.2   | 42.1   | 34.8 |      |
|        | 60 ⇒   | 50.4   | 41.7 |      |
|        |        | 60 ⇒   | 49.6 |      |
| 75 ⇒   | 62.7   | 52.7   | 43.5 |      |
|        | 75 ⇒   | 63     | 52.1 |      |
|        |        | 75 ⇒   | 62   |      |





**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION



IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**

**PHYSIoT**  
PHYSICS & IOT ENGINEERING  
DUAL DEGREE PROGRAM

**AIoT**  
By IoT & Information Engineering  
School of Engineering **KMITL**

**PTES**  
CAPACITOR  
www.ptes.co.th



**PTES**

www.ptes.co.th



**A-IAD**  
The Leading Electrical Firm

**VMEC**  
Engineering Co., Ltd.

**ADVANCE**  
Power Electric Co., Ltd.

**GTO**  
GTO TECHNOLOGY CO., LTD.



Orange Green  
Instruments



Dr. Suwilai Phumppo Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เพื่องค์กรชั้นนำทางธุรกิจ Dr. Pichet Thainiyom



# Smart Detuned Capacitor



*Dr. Suwilai Phumpho    Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





IoT System &  
Information  
Engineering  
KMITL



Orange Green  
Instruments



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



| Intelligent combination low-voltage reactive power measuring & control device                                           |  |  |  |                          |  |  |  |                          |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--------------------------|--|--|--|--------------------------|--|--|--|
| U1 (V) / Ph (A) / P (kW)                                                                                                |  |  |  | U2 (V) / Ph (A) / P (kW) |  |  |  | U3 (V) / Ph (A) / P (kW) |  |  |  |
| 233.3                                                                                                                   |  |  |  | 233.4                    |  |  |  | 233.3                    |  |  |  |
| 11.9 (A)                                                                                                                |  |  |  | 11.9 (A)                 |  |  |  | 11.9 (A)                 |  |  |  |
| 27.8                                                                                                                    |  |  |  | 25.9                     |  |  |  | 27.2                     |  |  |  |
| 0.96                                                                                                                    |  |  |  | 0.95                     |  |  |  | 0.97                     |  |  |  |
| Q96                                                                                                                     |  |  |  |                          |  |  |  |                          |  |  |  |
| Measurements: Voltage, Current, Power, Power Factor, Frequency, Phase Angle, Total Harmonic Distortion (THD), and more. |  |  |  |                          |  |  |  |                          |  |  |  |
| A V P PF F THD                                                                                                          |  |  |  |                          |  |  |  |                          |  |  |  |



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





# How to Reduce Harmonic in The Power System?



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





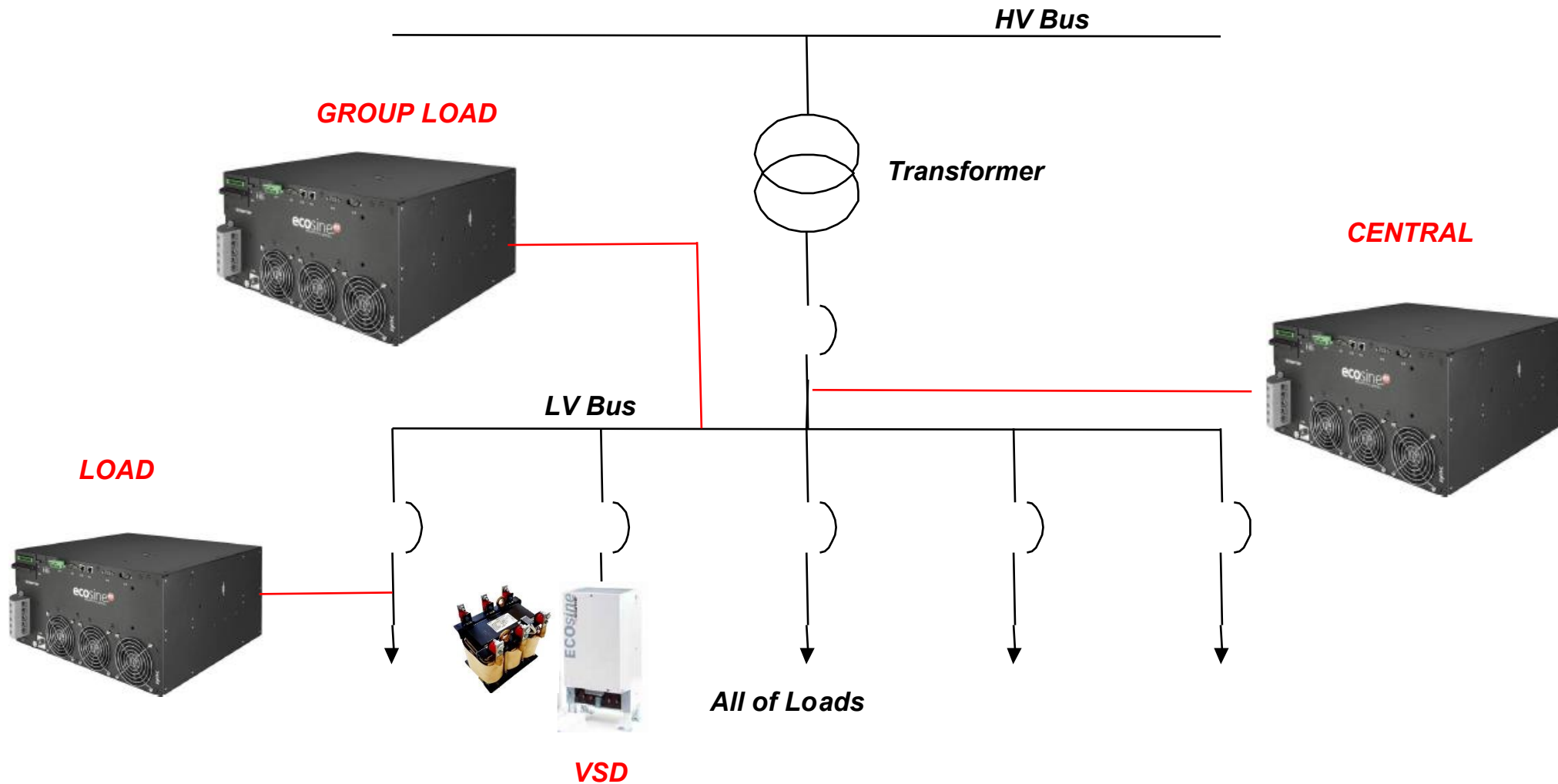
## PASSIVE FILTER

A passive filter is built with a series of passive components such as resistors, inductors and capacitors. Passive filters are most common and available for all voltage levels. Passive filters are built-up by combinations of capacitors, inductors (reactors) and resistors.

## ACTIVE FILTER

Active filters are available mainly for low voltage networks. Active filters are very fast electronic devices that will insert negative harmonics into the network, thus eliminating the undesirable harmonics on the network. The filters are built with active components such as IGBT-transistors and can eliminate many different harmonic frequencies.







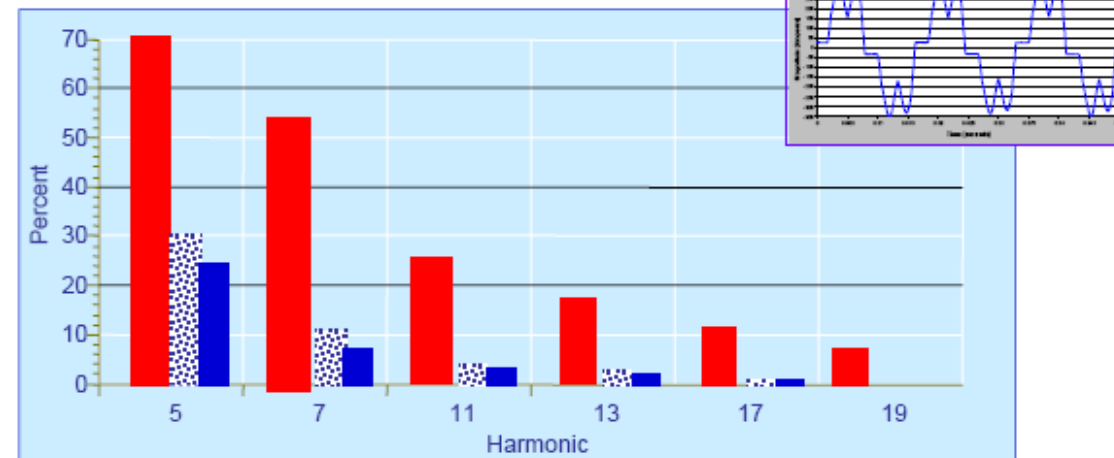
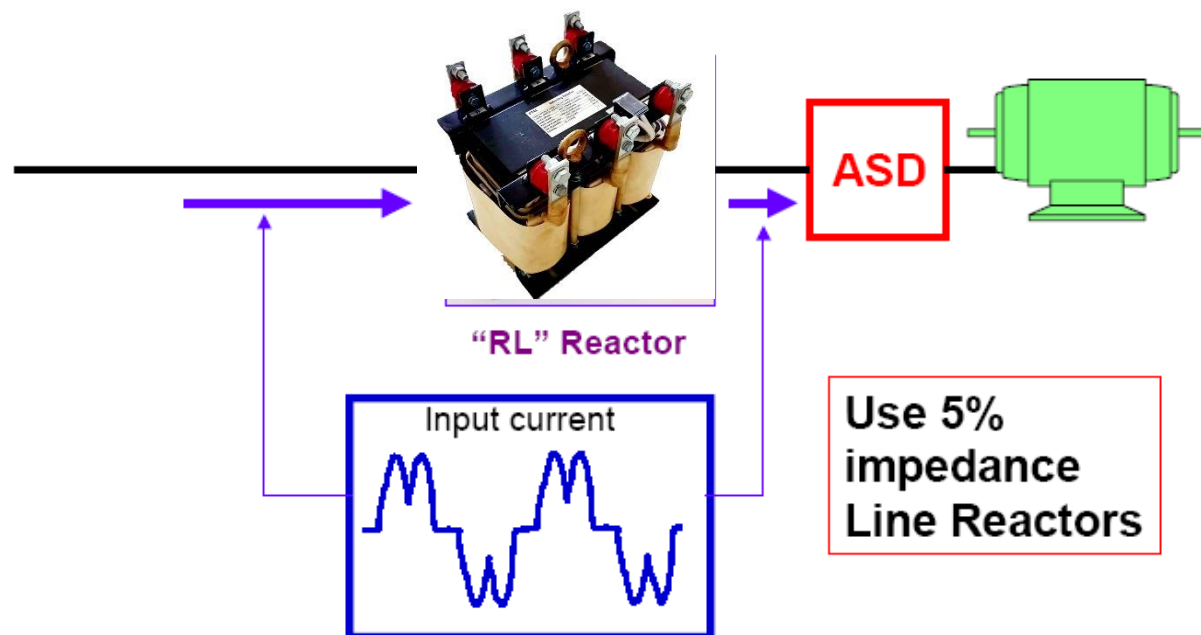
## Reduce Harmonics at Load (VSD)



*Dr. Suwilai Phumpho    Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



## Line Reactor



- No Reactor
- 5% Impedance Reactor
- 5% Impedance Reactor & 3% DC Choke

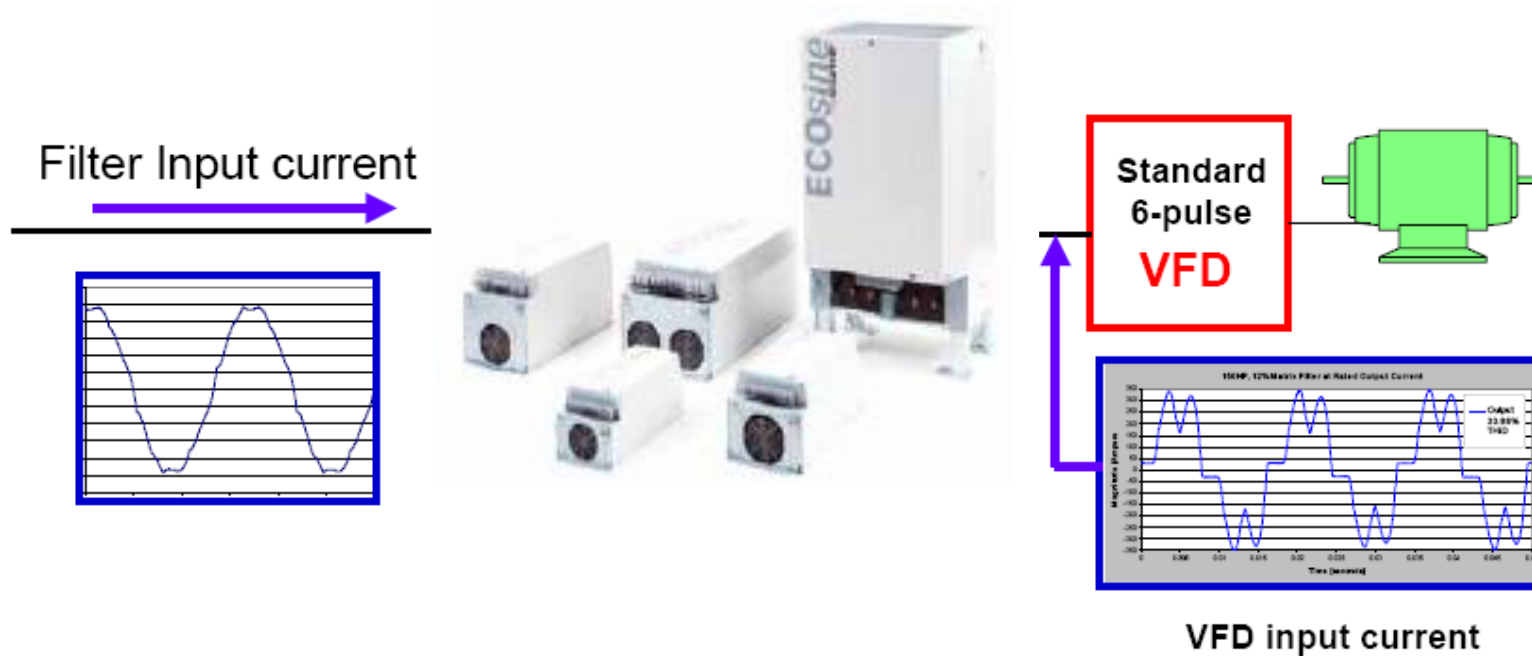
| Harmonic Number | INPUT IMPEDANCE |       |      |       |       |       |       |
|-----------------|-----------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 0.50%           | 1%    | 1.5% | 2%    | 2.5%  | 3%    | 5%    |
| 5th             | 0.8             | 0.6   | 0.5  | 0.46  | 0.42  | 0.4   | 0.32  |
| 7th             | 0.6             | 0.37  | 0.3  | 0.22  | 0.2   | 0.16  | 0.12  |
| 11th            | 0.18            | 0.12  | 0.1  | 0.09  | 0.08  | 0.073 | 0.058 |
| 13th            | 0.1             | 0.075 | 0.06 | 0.058 | 0.05  | 0.049 | 0.039 |
| 17th            | 0.073           | 0.052 | 0.04 | 0.036 | 0.032 | 0.03  | 0.022 |
| 19th            | 0.06            | 0.042 | 0.03 | 0.028 | 0.025 | 0.022 | 0.008 |
| % THD - I       | 102.5           | 72.2  | 59.6 | 52.3  | 47.6  | 44.13 | 34.96 |
| Amps Increase   | 43%             | 23%   | 17%  | 13%   | 11%   | 9%    | 6%    |

Input harmonic current distortion depends on total input line impedance. (Data is for 6-pulse diode bridge).

Dr. Suwilai Phumpha Dr. Pichet Thainiyom

ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

## Passive Harmonic Filter

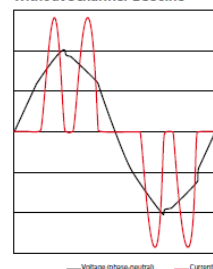




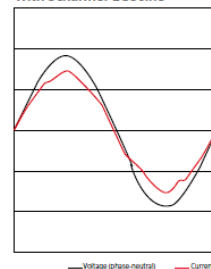
# Passive Harmonic Filter



Without Schaffner ECOSine™



With Schaffner ECOSine™



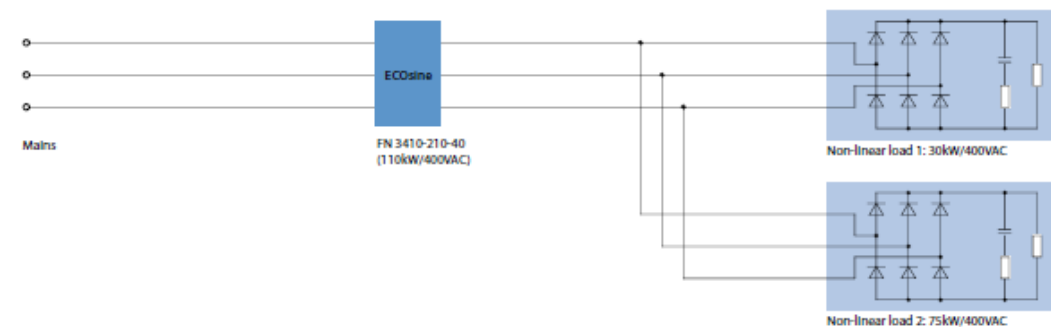
Example with 5.5kW drive

Current:  
 $I_m = 11A_{ms}$  (for power = 5.5kW)  
THID = 92% (for  $R_{ms} = 150$ )  
PWH = 37%  
Individual harmonics: 5th – 74%  
7th – 51%  
11th – 13%  
13th – 5%

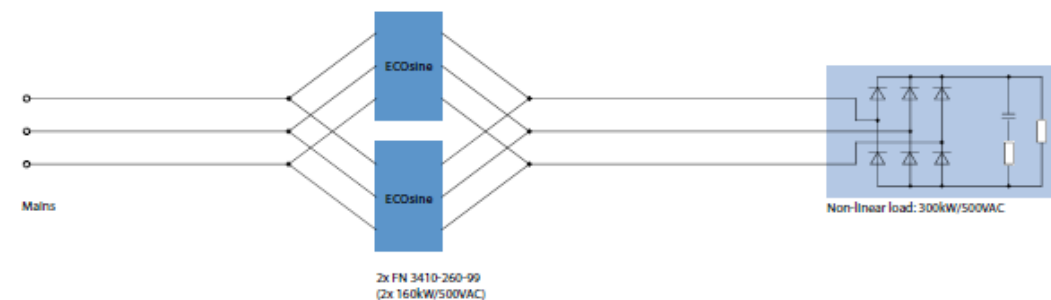
Voltage:  
 $U_m = 480V_{ms}$  (phase-phase)  
THVD = 4.4% (for  $I_{sc}/I_L = 150$ )

Current:  
 $I_m = 7.5A_{ms}$  (for power = 5.5kW)  
THID = 4.0%  
PWH = 5.2%  
Individual harmonics: 5th – 2.0%  
7th – 2.2%  
11th – 2.0%  
13th – 1.4%

Voltage:  
 $U_m = 480V_{ms}$  (phase-phase)  
THVD = 0.12% (for  $I_{sc}/I_L = 150$ )



Two or more filters can be paralleled in case the total input power of a given load exceeds the largest available product.







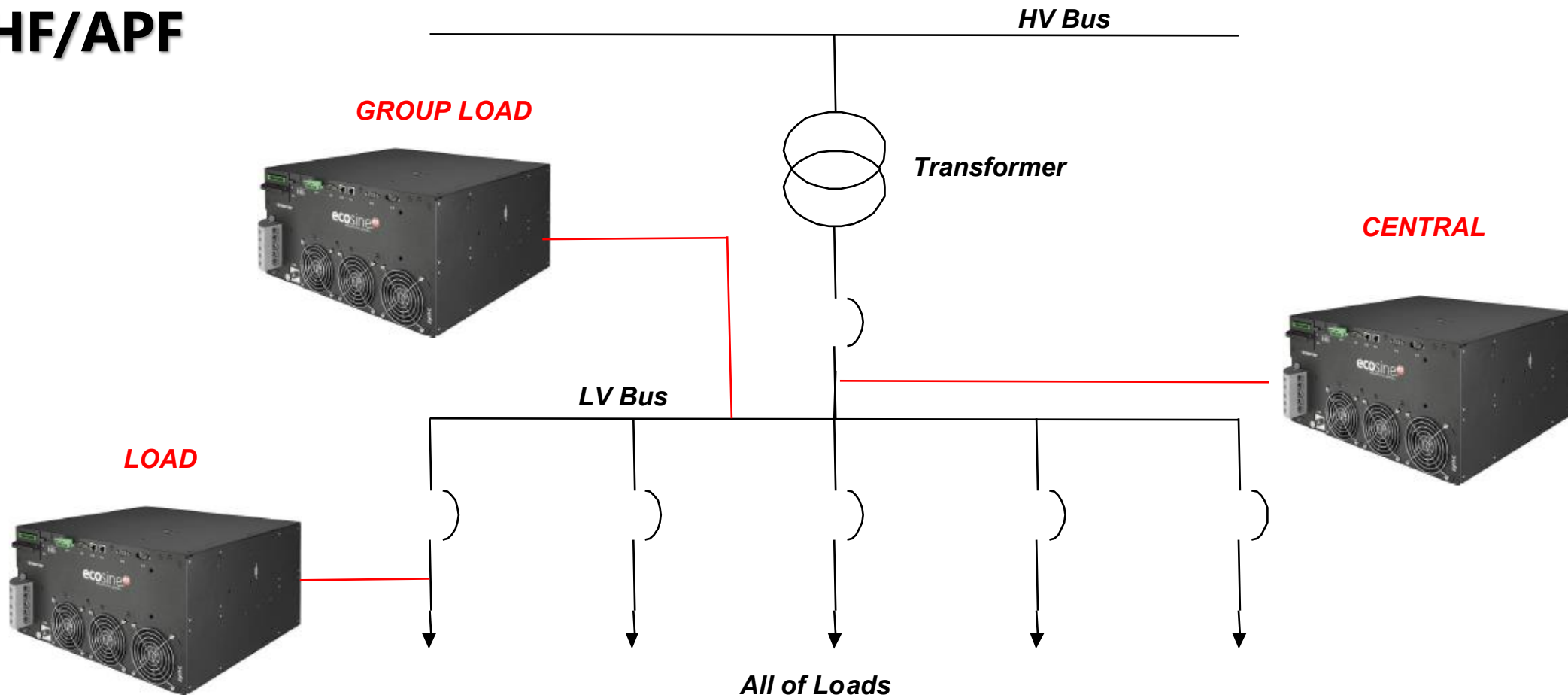
# Active Harmonic Filter (AHF)



*Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom*  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

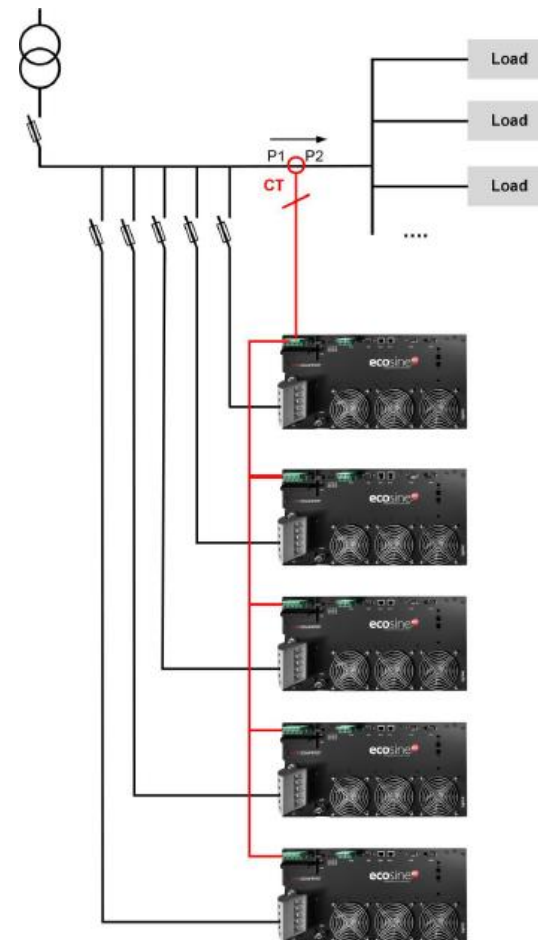
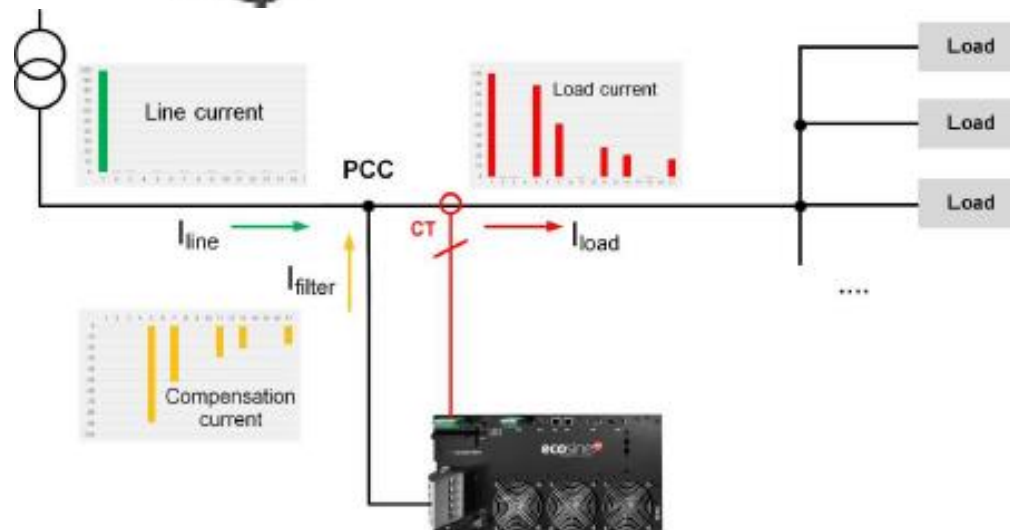


# AHF/APF

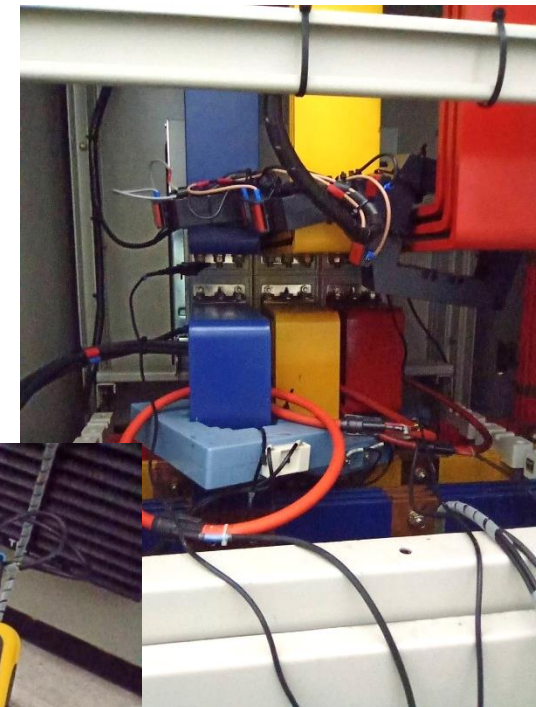




# AHF/APF







Dr. Suwilai Phumpho    Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



## ข้อดีของ Active Harmonic Filter (AHF)

### 1. ลดฮาร์โมนิก (Harmonic Reduction) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- สามารถตรวจจับและชดเชยกระแสฮาร์โมนิกแบบเรียลไทม์ (Real-time)
- ลดค่า **THD (Total Harmonic Distortion)** ให้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน IEEE 519
- ช่วยให้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้ากลับมาใกล้เคียงไซน์เวฟปกติ

### 2. ปรับปรุงค่า Power Factor ได้พร้อมกัน

- AHF สามารถผลิตกำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) เพื่อชดเชยได้ในตัว
- ทำให้ค่า PF สูงขึ้นโดยไม่ต้องติดตั้ง Capacitor Bank แยกต่างหาก

### 3. ตอบสนองรวดเร็วและแม่นยำ

- ใช้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วสูง (DSP / IGBT Switching)
- ปรับการทำงานตามโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้แบบอัตโนมัติภายในเสี้ยววินาที







## ข้อดีของ Active Harmonic Filter (AHF)

### ⚙ 4. ติดตั้งง่ายและยืดหยุ่น

- สามารถติดตั้งแบบ **Parallel (ขนานกับระบบ)** โดยไม่ต้องแก้ไขวงจรเดิม
- เหมาะทั้งกับโหลดเดี่ยว (Single Load) และระบบกระจายโหลด (Distribution System)

### ⚙ 5. ป้องกันและยืดอายุอุปกรณ์ไฟฟ้า

- ลดความร้อนในหม้อแปลง สายไฟ และมอเตอร์
- ลดความเสียหายต่ออุปกรณ์ควบคุม เช่น PLC, VFD, UPS
- ทำให้ระบบไฟฟ้ามีความเสถียรและปลอดภัยมากขึ้น

### ⚙ 6. สามารถทำงานร่วมกับระบบชดเชยอื่นได้

- ทำงานร่วมกับ **Detuned Capacitor Bank** ได้
- เหมาะกับระบบอุตสาหกรรมและอาคารที่มีโหลดไม่เชิงเส้นจำนวนมาก เช่น VFD, Computer, LED Driver







Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน



$$\text{AI} + \text{IoT} = \text{AIoT}$$

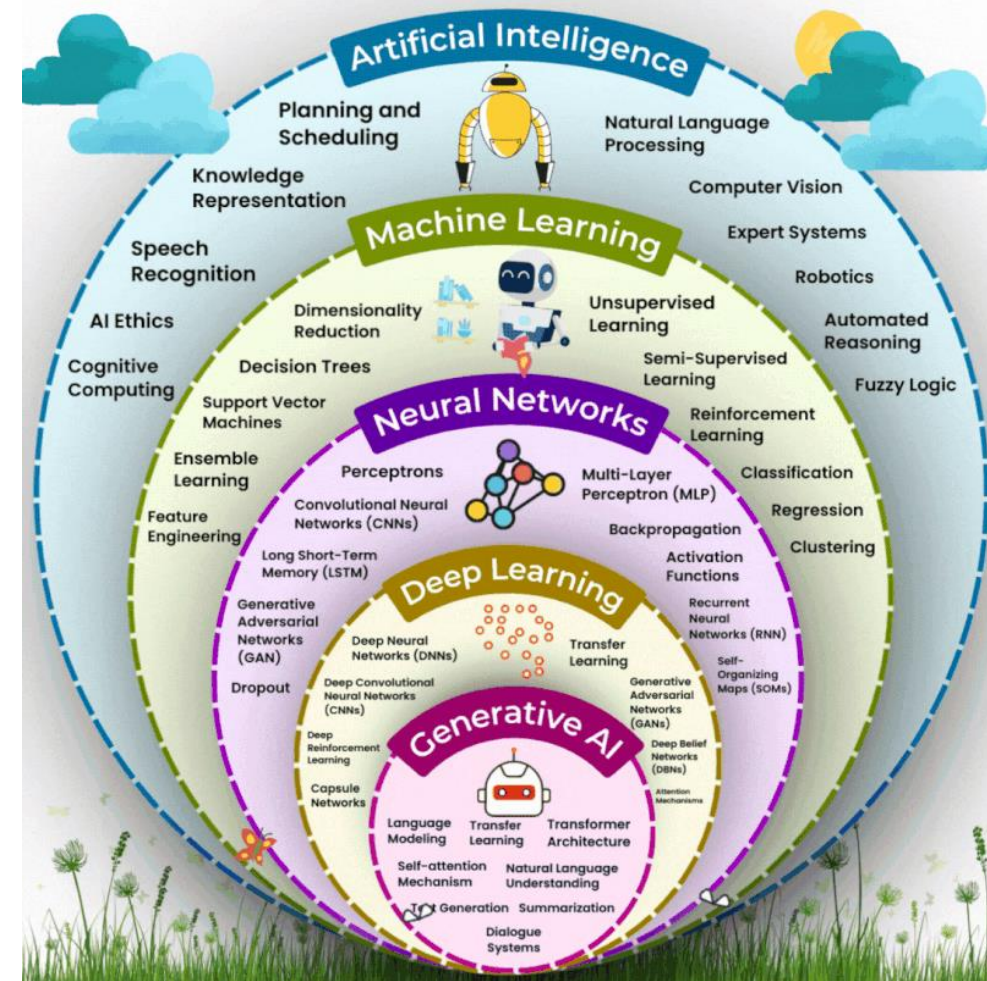
Artificial  
Intelligence

Internet of Things

Artificial Intelligence of Things

|        |                                                                                                                       |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1950's | 🧠 Artificial intelligence (AI)<br><i>Human intelligence exhibited by machines</i>                                     |
| 1980's | 🤖 Machine learning<br><i>AI systems that learn from historical data</i>                                               |
| 2010's | 🔍 Deep learning<br><i>Machine learning models that mimic human brain function</i>                                     |
| 2020's | 🧠 <sup>+</sup> Generative AI (Gen AI)<br><i>Deep learning models (foundation models) that create original content</i> |

# The AI Universe







## มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม IoT

- **ISO/IEC 30141:** IoT Reference Architecture
- **ISO/IEC 27001:** Information Security Management System
- **ISO/IEC 20924:** Internet of Things (IoT) – Vocabulary
- **ISO/IEC 30161-1** IoT – Data exchange and sharing for devices and platforms
- **ISO/IEC 30149** IoT – Trustworthiness framework
- **ISO/IEC 30111** Vulnerability handling processes
- **ISO/IEC 27030** Security and privacy for IoT
- **ISO/IEC 21823** IoT – Interoperability for IoT systems
- **ISO/IEC TR 23188:** IoT – Edge computing landscape
- **IEC 62443:** Cybersecurity for Industrial Automation and Control Systems
- **NIST SP 800-213:** IoT Device Cybersecurity Guidance
- **ETSI EN 303 645:** Cybersecurity standard for consumer IoT
- **ISO/IEC 22989** Artificial Intelligence – Concepts and terminology
- **ISO/IEC 23053** Framework for AI systems using machine learning
- **ISO/IEC 23894** AI – Risk Management
- **ISO/IEC 42001** AI Management System (AIMS)
- **ISO/IEC TR 24028** Trustworthiness in AI



Dr. Suwilai Phumpha Dr. Pichet Thainiyom

ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





IoT System &  
Information  
Engineering  
KMITL



# วิศวกรรมระบบไอโอที และสารสนเทศ

## IoT System and Information Engineering



### IoT System and Information Engineering, KMITL วิศวกรรม ระบบไอโอทีและสารสนเทศ

3.8 พัน การกดถูกใจ • ผู้ติดตาม 4.2 พัน คน



📄 เรียนรู้เพิ่มเติม

👍 ถูกใจแล้ว

💬 ส่งข้อความ

Delta Electronics (Thailand) Public company Limited

## NEXT ENERGY ERA & AUTOMATION DRIVEN

พลังงานยุคใหม่และการขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีอัตโนมัติ

**กิตติศักดิ์ เจ็นจอกงาม**  
ผู้อำนวยการอาวุโส ฝ่ายพัฒนารธุรกิจ  
ด้านโครงสร้างพื้นฐานพลังงาน

**FREE SEMINAR**  
**18 AUG 2025**  
🕒 13:00 - 16:00

**ON-SITE**  
📍 SLOPE 3 อาคารเรียนรวม 12 ชั้น  
คณะวิศวกรรมศาสตร์, KMITL



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน











# SMART STARTUP WITH DATA & AI

ปั้น Startup ด้วยพลังข้อมูล และปัญญาประดิษฐ์

บรรยายโดย  
**ดร.รรณมธีร์ สุกโชติรัตน์**  
CEO JIBSOFT

ลงทะเบียนเข้าร่วมงาน



**ON-SITE**  
**29 September 2025**  
13.00 - 16.00

ห้องประชุม3 อาคารเรียนรวม 12 ชั้น (ตึกโหล) คณะวิศวกรรมศาสตร์



## IoT System and Information Engineering, KMITL วิศวกรรมระบบไอโอทีและสารสนเทศ ได้แพร่ภาพสด

21 กรกฎาคม เวลา 12:56 น. · 🌐

หัวข้อที่เกี่ยวข้องกับ สายการผลิตหุ่นยนต์ต่างๆ และรถ AGV & product ของสมาคม IDEA (Innovation and Digital Economy Development Association)

### FREE SEMINAR

**21 JULY 2025**  
13:00 - 16:00



## MACHINE DESIGN

การทำหุ่นยนต์มาใช้ในภาคอุตสาหกรรมผลิต



ศาสตราจารย์ รัตนา สุกโชติรัตน์  
President, Faculty of Engineering (FGE)



ศาสตราจารย์ พิชิต ไชยนิคม  
Vice President (Engineering), IDEA



ศาสตราจารย์ สุวิไล พุ่มพโป  
Secretary General, Association of Engineers (SAE)



ศาสตราจารย์ พิชิต ไชยนิคม  
President, Association of Engineers (SAE)



ศาสตราจารย์ รัตนา สุกโชติรัตน์  
President, Faculty of Engineering (FGE)



ศาสตราจารย์ สุวิไล พุ่มพโป  
Secretary General, Association of Engineers (SAE)



ศาสตราจารย์ พิชิต ไชยนิคม  
Vice President (Engineering), IDEA

# STARTING...





Dr. Suwilai Phumppo Dr. Pichet Thainiyom  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน





**ESIC**  
ELECTRICAL  
SYSTEM INSPECTOR ASSOCIATION



IoT System &  
Information  
Engineering  
**KMITL**

**PHYSIoT AIoT**  
PHYSICS & IoT ENGINEERING  
DUAL DEGREE PROGRAM  
By IoT & Information Engineering  
School of Engineering **KMITL**

**ขอเชิญวิศวกรอาสาเข้าร่วม**  
**โครงการตรวจสอบระบบไฟฟ้า CSR ณ โรงเรียนไทยรัฐวิทยา ๗๑**  
397 ม.5 ต.คลองด่าน อ.บางบ่อ  
จ.สมุทรปราการ 10550

**วันอังคารที่ 8 ตุลาคม 2567**  
**รายละเอียด**

- ✓ ตรวจสอบ ระบบไฟฟ้าของโรงเรียน
- ✓ แนะนำการแก้ไข และบำรุงรักษา
- ✓ ณ อาคารและจุดต่างๆ ภายในโรงเรียน
- ✓ เวลา 08.00 - 14.00 น.
- ✓ สามารถร่วมบริจาค อุปกรณ์เพื่อการเรียน หรือ ทุนการศึกษา แก่เด็กนักเรียน

**QR Code**

PDU :  
5 หน่วย  
สำหรับผู้เข้าร่วมกิจกรรม  
เลขกิจกรรม  
506-03-2035/6710-0004

**บัญชี ธนาคารไทยพาณิชย์ SCB**  
"สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า" 421-075418-4

**ติดต่อสอบถาม**  
ผศ.สมมาตรฯ 099 282 5453

**ดร.สุวิไล พุ่มพัวร์**  
คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

**ดร.เพ็ชร ทวีบุญ**  
ประธานภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

**อ.พลวิช ไกลอน (อ.หมี่)**  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ IOT  
กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมภาค 10

**การประยุกต์ใช้ IOT เพื่อช่วยใน**  
**งานตรวจสอบระบบไฟฟ้า รุ่นที่ 1**  
SPECIALIST

**เนื้อหา**

- ✓ พื้นฐานและแนวโน้มของ IoT ในงานตรวจสอบระบบไฟฟ้า
- ✓ มาตราฐานและข้อกำหนดของอุปกรณ์ระบบตรวจสอบไฟฟ้าด้วย IoT
- ✓ การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย IoT แบบเรียลไทม์
- ✓ Predictive Maintenance ด้วยข้อมูลจาก IoT
- ✓ การนำ IoT ไปใช้งานจริงในการตรวจสอบระบบไฟฟ้า

**อบรมวันอาทิตย์ที่ 27 กรกฎาคม 2568**  
รูปแบบออนไลน์ ผ่าน ZOOM MEETING  
เวลา 18:00 - 21:00 น.

**ลงทะเบียนฟรี !!! สำหรับนักศึกษาวิชาฯ สอว.**  
นศ.ผู้เข้าร่วมอบรมจะได้รับ E-CERTIFICATE ทุกคน

**REGISTRATION**

ติดต่อสอบถามได้ที่ Line: ESIC Training  
Link: <https://lin.ee/Ddst9c5z>

วิศวกรอาสาเข้าร่วม โครงการตรวจสอบระบบไฟฟ้า CSR ณ โรงเรียนไทยรัฐวิทยา 71

<https://www.thainewsasia.com/content/11614>

**NEWS ASIA**

**วิศวกรอาสาเข้าร่วม โครงการตรวจสอบระบบไฟฟ้า CSR ณ โรงเรียนไทยรัฐวิทยา 71**

เมื่อวันที่ 8 ตค 67 เวลา 16.00 น. ณ.โรงเรียนไทยรัฐวิทยา 71 คณะวิศวกรอาสาสมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า นำโดย วศ.วิชญพงศ์ สังข์วัฒนวิมล นายกสมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า, นายจักรพันธ์ บรรจงคชาธาร ผู้จัดการสมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า, ดร.สุวิไล พุ่มพัวร์ กรรมการสมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า, วศ.เนติพงษ์ จินดาวัฒน์ วิศวกรอาสา สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า, วศ.ปรีชา หล้าสมบูรณ์ วิศวกรอาสา สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า, วศ.ชิงชัย ชุมกลาง วิศวกรอาสา สมาคมผู้ตรวจสอบระบบไฟฟ้า พร้อมนักศึกษาช่างไฟฟ้าจากวิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ ลงพื้นที่ตรวจสอบ ระบบไฟฟ้าของโรงเรียน ทุกอาคารแนะนำการแก้ไข และบำรุงรักษาของแต่ละอาคารเรียน

**Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom**  
ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน







**KMITL**  
สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**KMITL**  
**FIGHT**



เอกสารประกอบการบรรยาย

**Scan QR Code** พิมพ์ **COE02**



Orange Green  
Instruments



Dr. Suwilai Phumpho Dr. Pichet Thainiyom

ESIC VISION: เป็นองค์กรชั้นนำด้านการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน