

# การชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



## กำลังไฟฟ้า

---

### 1. กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) W

- เกิดจากโหลดความต้านทาน

### 2. กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) Var

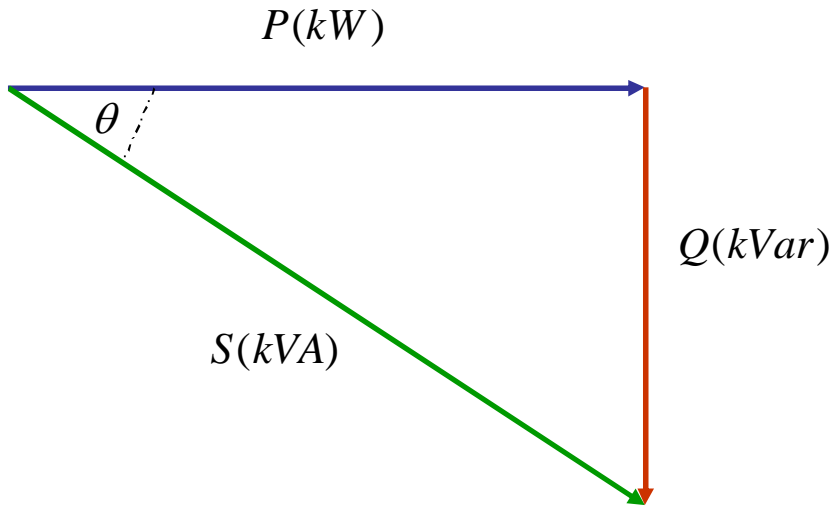
- เกิดจากโหลดตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุ

### 3. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) VA

- ผลรวมทางเวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

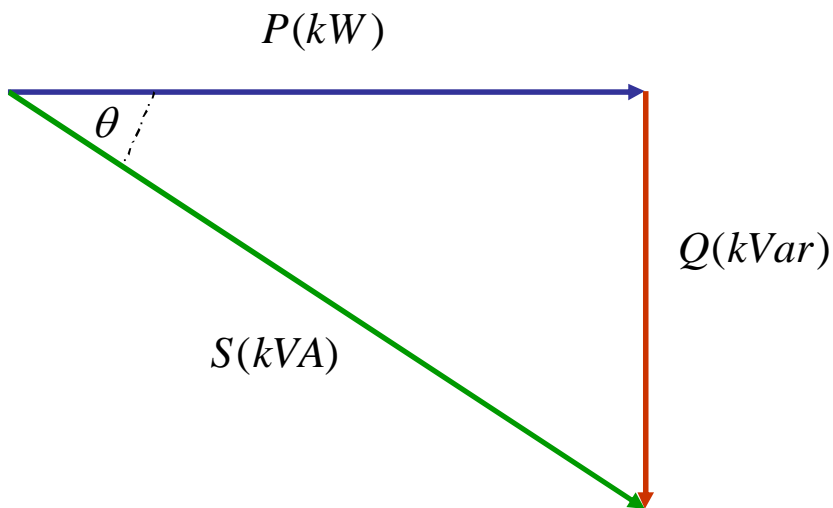
# สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)

---



# ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

---



**P.F.** =  $\cos \theta$  =  $\frac{P}{S}$  (มีค่าระหว่าง 0 - 1)

## ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

- เป็นตัวบอกประสิทธิภาพการใช้งานของระบบไฟฟ้า
- PF สูง (ใกล้ค่า 1 หรือ 100%) → ระบบมีประสิทธิภาพดี
- PF ต่ำ (ใกล้ค่า 0 หรือ 0%) → ระบบมีประสิทธิภาพต่ำ

## ผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ

---

- ทำให้ต้องค่า S มากขึ้น โดยที่ได้ประโยชน์จากค่า P เท่าเดิม



ต้องมีการสำรองกำลังไฟฟ้ามากขึ้น



จำนวนโรงผลิตไฟฟ้ามากขึ้น

P (kW)	P.F. (%)	มุม P.F. (องศา)	$S = P/P.F.$ (KVA)	$I = S / V$ (A)	ขนาดสาย ตร.มม.
30	100	0	30	78.9	35
30	90	25.8	33.3	87.6	35
30	80	36.9	37.5	98.7	50
30	70	45.6	42.9	112.9	50
30	60	53.1	50	131.6	70
30	50	60	60	157.9	95

## สรุป ผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ

1. เจ้าของสถานประกอบการต้องเสียค่าปรับ จากการที่ P.F. ต่ำ ให้อำนาจการไฟฟ้าฯ ทุกเดือน
2. หน่วยการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อเดือน เพิ่มขึ้น (เนื่องจากกำลังสูญเสียในสายจากกระแสเพิ่มขึ้น)
3. อาจเกิดปัญหาแรงดันตก
4. ขนาดสายไฟ หม้อแปลงไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ มีขนาดใหญ่ขึ้น
5. ถ้าใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายไฟเอง ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องจะสูง

## การคิดค่าปรับของการไฟฟ้าฯ

กฟภ. จะเรียกเก็บค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (P.F.) กับผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ และ ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง โดยจะคิดค่า P.F. จากค่ากิโลวาร์ สูงสุดเฉพาะในส่วนที่เกินจากร้อยละ 61.97 ของค่าความต้องการ พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในอัตรา กิโลวาร์ละ 14.02 บาท (เศษของกิโล วาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์ )

## วิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

โดยปกติตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะเป็นแบบล่าหลัง (Lagging) เนื่องจากโหลดส่วนใหญ่เป็นตัวเหนี่ยวนำ

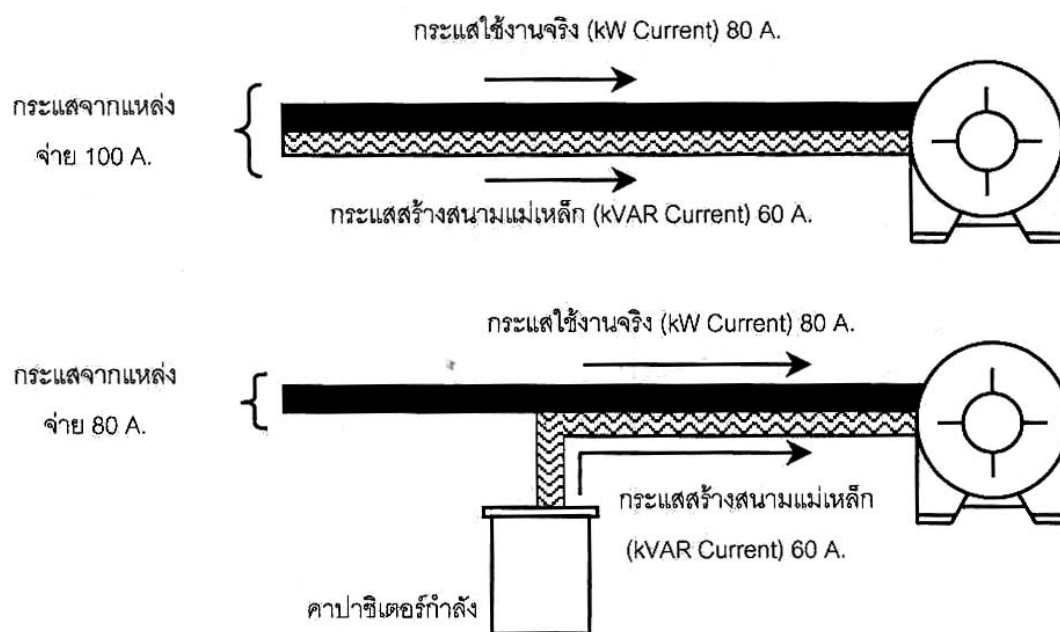
สามารถปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้โดยใช้

- ติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor Bank)
- ติดตั้งมอเตอร์ชนิดซิงโครนัส (Synchronous Motor)

# ชุดตัวเก็บประจุ (Capacitor Bank)



## การทำงานของชุดตัวเก็บประจุ



# มอเตอร์ชนิดซิงโครนัส (Synchronous Motor)

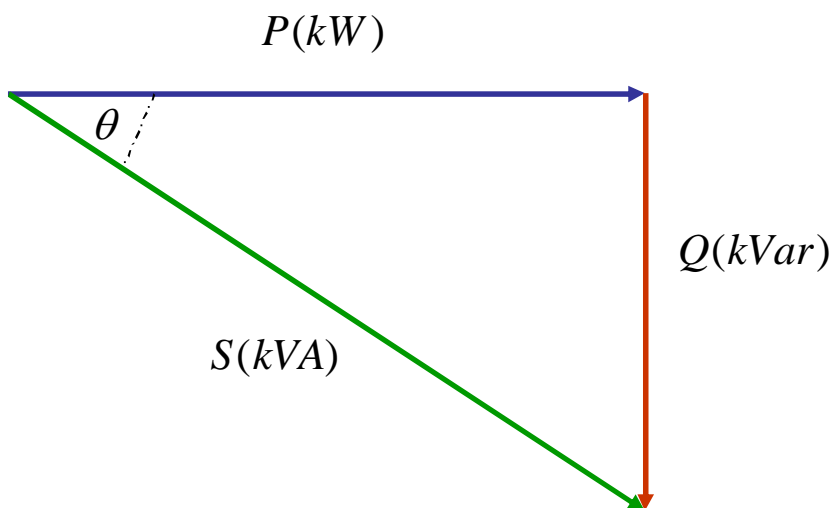
---



1000 HP

## การคำนวณหาตัวเก็บประจุ

---



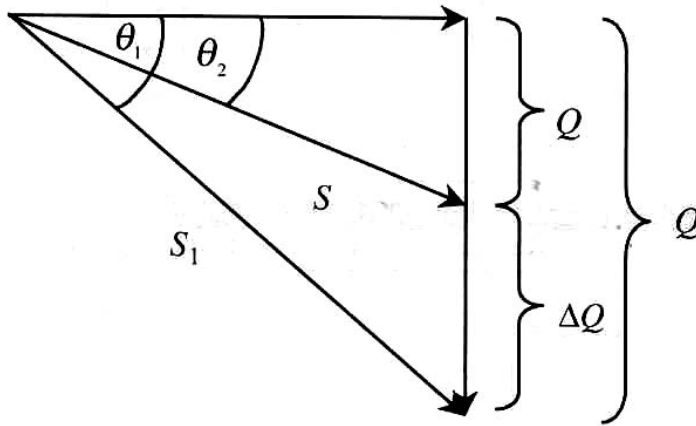
ขนาดตัวเก็บประจุ หาได้จาก

$$Q = P \times \tan \theta$$

$Q$  - ขนาดตัวเก็บประจุ (kVar)  
 $P$  - ขนาดพิกัดโหลด (kW)

# ขนาดของตัวเก็บประจุ

โดยทั่วไปจะอยู่ระดับ 85% - 95%



$P$  = ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของโหลด  
 $Q_1$  = ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนก่อนปรับปรุง  
 $Q_2$  = ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนหลังปรับปรุง  
 $S_1$  = ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏก่อนปรับปรุง  
 $S_2$  = ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏหลังปรับปรุง  
 $\Delta Q$  = ขนาดของคาปาซิเตอร์ที่นำมาใช้  
 $\Delta Q = Q_1 - Q_2$

ก่อนปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$$Q_1 = P \times \tan \theta_1$$

ก่อนปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$$Q_2 = P \times \tan \theta_2$$

ขนาดของตัวเก็บประจุที่นำมาติดตั้ง

$$\begin{aligned} Q_c = \Delta Q &= Q_1 - Q_2 \\ &= P \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \end{aligned}$$



## ตัวอย่างที่ 1

---

หม้อแปลงลูกหนึ่ง จ่ายไฟให้โหลด 1000 kW และ โหลดมีค่า P.F. = 0.7 จะต้องใช้หม้อแปลงขนาดกี่ kVA ในการติดตั้ง

ถ้าต้องการปรับปรุงโหลดให้มี P.F. เป็น 0.9 จะต้องใช้ตัวเก็บประจุขนาดกี่ kVar และหม้อแปลงจะเหลือกำลังสำรองเท่าไร

ก่อนปรับปรุง P.F.

$$\theta_1 = \cos^{-1} 0.7 = 45.57^\circ$$

หลังปรับปรุง P.F.

$$\theta_2 = \cos^{-1} 0.9 = 25.84^\circ$$

ขนาดตัวเก็บประจุ

$$\begin{aligned} Q_c &= P \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\ &= 1,000 \times (\tan 45.57^\circ - \tan 25.84^\circ) \\ &= 535.82 \text{ kVar} \end{aligned}$$

## ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \longrightarrow S = \frac{P}{\cos \theta}$$

## ก่อนปรับปรุง P.F.

$$\begin{aligned} \text{ขนาดหม้อแปลง} &= \frac{1,000}{0.7} \\ &= 1,428.57 \text{ kVA} \end{aligned}$$

**\*\*** เลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด **1,500 kVA**

## หลังปรับปรุง P.F.

$$\begin{aligned} \text{ขนาดหม้อแปลง} &= \frac{1,000}{0.9} \\ &= 1,111.11 \text{ kVA} \end{aligned}$$

**\*\*** เลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด **1,250 kVA**

**\*\*** ถ้าใช้หม้อแปลงขนาดเดิม (1,500 kVA) จะทำให้เหลือกำลังสำรอง / จ่ายโหลดได้มากขึ้น

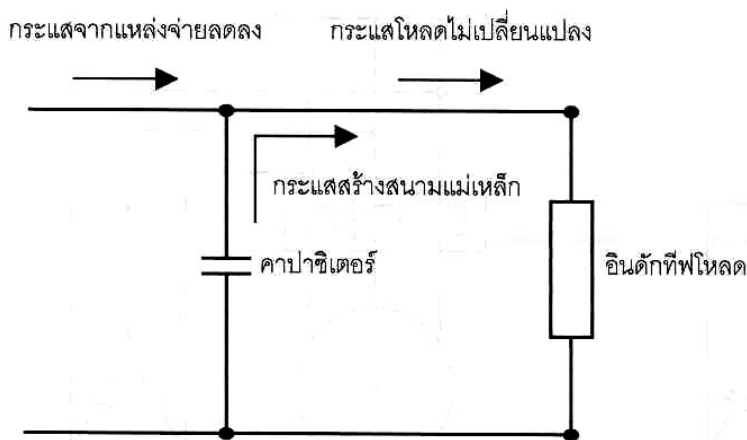
$$= 1,428.57 - 1,111.11$$

$$= \mathbf{317.46 \text{ kVA}}$$

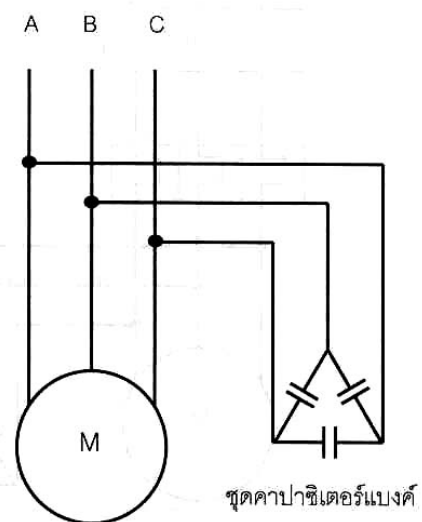
# ประโยชน์ที่ได้จากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

1. ไม่ต้องเสียค่าปรับให้กับการไฟฟ้าฯ เนื่องจากค่า P.F. ต่ำ
2. ช่วยลดกระแสในระบบไฟฟ้า
3. ช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า
4. ช่วยลดแรงดันตกในระบบไฟฟ้า
5. ช่วยเพิ่มกำลังสำรองให้กับระบบไฟฟ้า
6. ทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดที่เป็นกำลังไฟฟ้าจริงได้มากขึ้น

## รูปแบบการติดตั้งตัวเก็บประจุ



1 เฟส



3 เฟส

# ตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ

---

อาจแบ่งจุดที่จะทำการติดตั้ง ได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

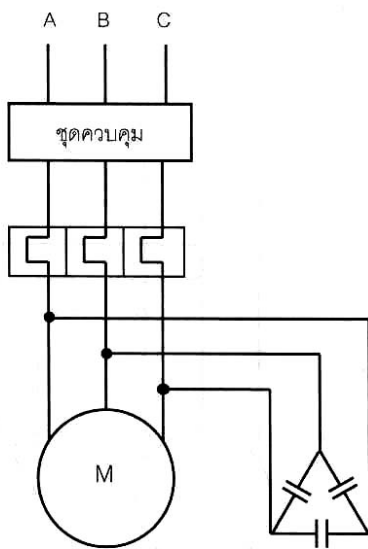
1. การปรับปรุงที่โหลดแต่ละตัว (Individual Compensation)
2. การปรับปรุงที่กลุ่มของโหลด (Group Compensation)
3. การปรับปรุงที่ศูนย์กลางของโหลด (Central Compensation)

## การปรับปรุงที่โหลดแต่ละตัว

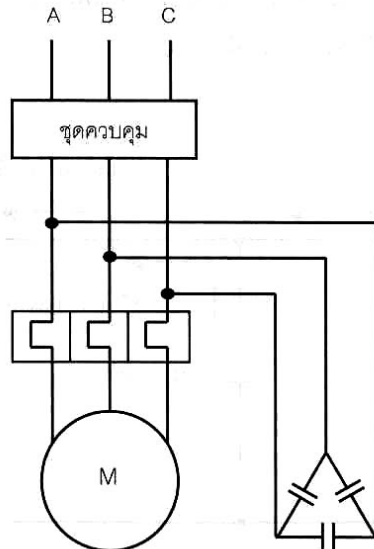
---

- เป็นการติดตั้งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด
- การลงทุนสูง เนื่องจากต้องติดตั้งเป็นจำนวนเท่ากับโหลด
- มักใช้กับโหลดพวกหลอดฟลูออเรสเซนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า

## การปรับปรุงที่โหลดแต่ละตัว



กระแสที่ไหลผ่านรีเลย์จะลดลง



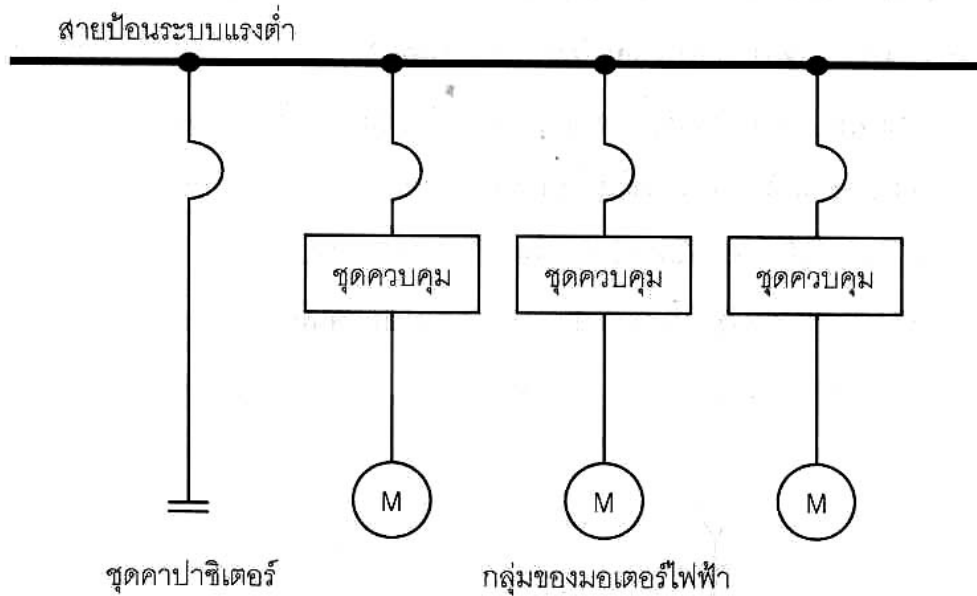
กระแสที่ไหลผ่านรีเลย์ทำเคิม

## การปรับปรุงที่กลุ่มของโหลด

- ใช้ตัวเก็บประจุชุดเดียว ต่อเข้ากับโหลดหลายๆตัว
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งลดลง
- ถ้าโหลดในวงจรเปลี่ยนแปลง → ควบคุมค่า P.F. ให้คงที่ได้ยาก
- ต้องมีการติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับตัวเก็บประจุโดยเฉพาะเพิ่มเข้าไปอีก

## การปรับปรุงที่กลุ่มของโหลด

---

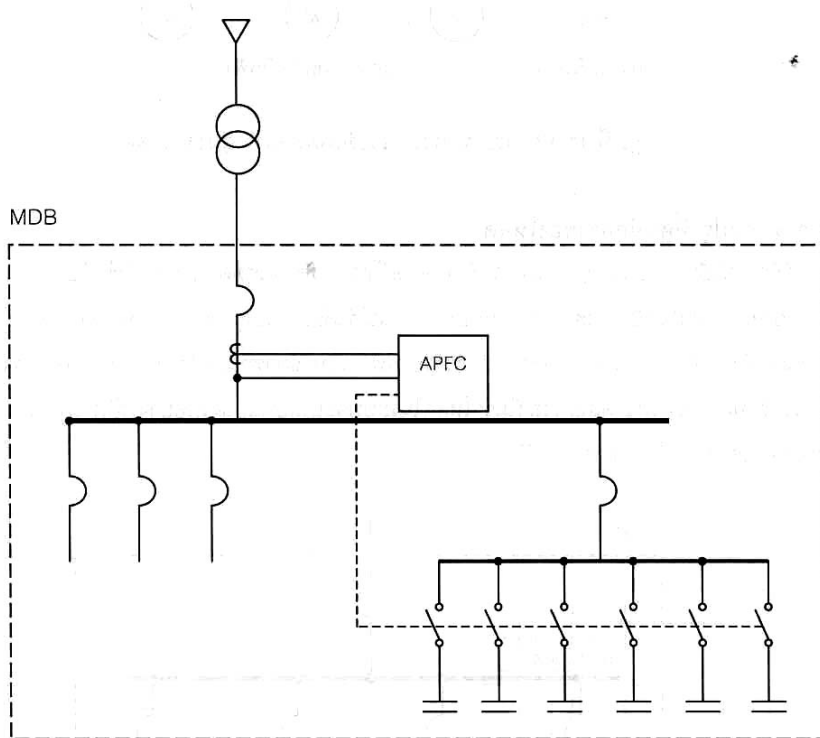


## การปรับปรุงที่ศูนย์กลางของโหลด

---

- ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บริเวณตู้ MDB
- มีเครื่องควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า แบบอัตโนมัติ คอบตรวจสอบและสั่งให้ ตัด-ต่อ ตัวเก็บประจุเข้ากับระบบ
- นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสะดวก
- แต่ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งจะสูงกว่าวิธีอื่นๆมาก

# การปรับปรุงที่ศูนย์กลางของโหลด



# เครื่องควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

- Automatic Power Factor Controller (APFC)



## PFC

- จำนวน Output ที่ใช้ควบคุมจำนวน Step ของ คาแพซิเตอร์
- แรงดันพิกัดที่เหมาะสม
- ตั้งเวลาในการควบคุมการเปิด-ปิดวงจรได้
- เมื่อไฟฟ้าดับควรมีระบบเปิดวงจรคาแพซิเตอร์ แมงค์ทั้งหมดออกจากระบบ

# การออกแบบสำหรับสถานประกอบการ

ประเภทอุตสาหกรรม	P.F. (%)	ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า	P.F. (%)
ชิ้นส่วนรถยนต์	75-80	แอร์คอมเพรสเซอร์	
โรงเบียร์	75-80	-มอเตอร์ภายนอก	75-80
ซีเมนต์	80-85	-มอเตอร์แบบปิดผนึก	50-80
เคมี	56-75	เครื่องเชื่อมแบบอาร์ก	35-60
เหมืองถ่านหิน	65-80	เครื่องเชื่อมแบบความต้านทาน	40-60
เสื้อผ้า	35-60	เครื่องจักร	40-65
ชุบหรืออบโลหะด้วยไฟฟ้า	65-70	เตาเผาแบบอาร์ก	75-90
หล่อโลหะ	75-80	เตาเผาแบบเหนียวน้ำ	100
ตีหรือเผาเหล็ก	70-80	เครื่องปั๊มโลหะ	
โรงพยาบาล	75-80	-ธรรมดา	60-70
เครื่องจักร	60-65	-ความเร็วสูง	45-60
โลหะการ	65-70	เครื่องพ่นสี	60-65
อาคารพาณิชย์	80-85	เครื่องทอผ้า	
สี	55-65	-เครื่องเดียว	60
พลาสติก	55-70	-หลายเครื่อง	70
ทอผ้า	65-70	บัลลาสต์	50

## ขนาดและพิกัดของอุปกรณ์ในการติดตั้งตัวเก็บประจุ

### ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

- ต้องมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่าร้อยละ 135 ของพิกัดกระแสของตัวเก็บประจุ
- หากตัวเก็บประจุต่อกับวงจรมอเตอร์ ตัวนำของวงจรตัวเก็บประจุต้องมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่า 1/3 ของขนาดกระแสของสายวงจรมอเตอร์ แต่ทั้งนี้ ขนาดกระแสของตัวนำต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 135 ของพิกัดกระแสของตัวเป็นประจุ



## การป้องกันกระแสเกิน

ก. ตัวเก็บประจุแต่ละชุด ต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ตัวนำทุกสายเส้นไฟ

**ยกเว้น** กรณีที่ตัวเก็บประจุต่อไว้ทางด้านโหลดของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังของมอเตอร์

ข. พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินต้องให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะให้ตัวเก็บประจุชุดนั้นต่อใช้งานได้

## ค่าปรับตั้งโดยทั่วไปของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน	ขนาดปรับตั้ง (ร้อยละของกระแสตัวเก็บประจุ)
ฟิวส์	165
เซอร์กิตเบรกเกอร์	150

กระแสตัวเก็บประจุ



$$I_C = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \times V_L}$$

## เครื่องปลดวงจร

ก. ต้องติดตั้งเครื่องปลดวงจรในทุกสายเส้นไฟของตัวเก็บประจุแต่ละชุด

**ยกเว้น** ตัวเก็บประจุต่อไว้ทางด้านคผลของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังของมอเตอร์

ข. เครื่องปลดวงจรต้องปลดทุกสายเส้นไฟพร้อมกัน

ค. เครื่องปลดวงจรต้องปลดตัวเก็บประจุออกจากวงจรในสภาพการใช้งานปกติได้โดยเครื่องปลดวงจรไม่เสียหาย

ง. พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจรต้องไม่น้อยกว่า**ร้อยละ 135** ของพิกัดกระแสของตัวเก็บประจุ

### ตัวอย่าง การติดตั้งอุปกรณ์ในชุดตัวเก็บประจุ

