

บทที่ 14

การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง



1

14.1 บทนำ

- โหลดของระบบไฟฟ้า
ต้องการใช้กำลังไฟฟ้าจริง (kW)
และกำลังไฟฟ้า Reactive (kVAR) ในการทำงาน
- โดยทั่วไป P.F. ของระบบค่อนข้างต่ำ
- P.F. ต่ำมีผลเสียหลายอย่าง
เช่น กำลังสูญเสียเพิ่ม เป็นต้น
- ระบบไฟฟ้าจึงต้องมีการปรับปรุง P.F. ให้สูงขึ้น

2

ระบบไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องปรับปรุง P.F. ให้มีค่าสูงขึ้น

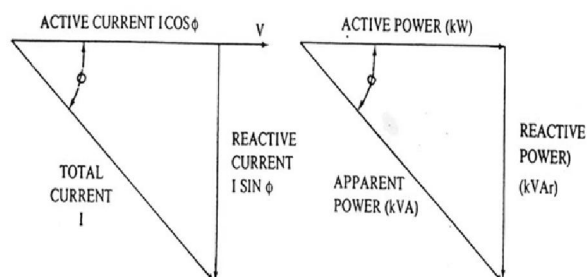
- ทำได้โดยการติดตั้ง Capacitors
ขนานเข้ากับระบบไฟฟ้า

- ระบบไฟฟ้าปัจจุบันมี Non- linear Loads เพิ่มขึ้น
การมี Harmonic อาจทำความเสียหายกับ Capacitors

จำเป็นต้องพิจารณาเรื่องนี้ในการปรับปรุง P.F. ด้วย

3

14.2 กำลังไฟฟ้า



รูปที่ 14.1 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

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

4

ตัวอย่างที่ 14.1 โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลด 600 kW, 800 kVAR
กำลังไฟฟ้าเสมือนจะเป็นเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{kVA} &= \sqrt{\text{kW}^2 + \text{kVAR}^2} \\ &= \sqrt{600^2 + 800^2} \\ &= 1000 \end{aligned}$$

5

14.3. นิยามของ Power Factor

$$\begin{aligned} \text{POWER FACTOR} &= \frac{\text{Real Power}}{\text{Apparent Power}} \\ &= \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \\ &= \cos \phi \end{aligned}$$

6

หรือ

$$\text{kW} = \text{kVA} \times \cos \phi$$

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

$$= \text{kW} \times \tan \phi$$

7

ตัวอย่างที่ 14.2

P.F. ของโรงงานตามตัวอย่างที่ 1 มีค่าเท่าใด

วิธีทำ

$$\text{P.F.} = \text{kW} / \text{kVA}$$

$$= 600 / 1000$$

$$= 0.6$$

$$= 60 \%$$

8

ตัวอย่างที่ 14.3 โรงงานแห่งหนึ่งใช้ไฟ 380 V, 3 ϕ , 4 w
วัดกระแสได้ 1,000 A
และกำลังไฟฟ้าจริงได้ 400 kW
P.F มีค่าเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned}\text{Real Power} &= 400 \text{ kW} \\ \text{Apparent Power} &= \frac{\sqrt{3} \times 380 \times 1,000}{1,000} \\ &= 658.2 \text{ kVA}\end{aligned}$$

9

$$\begin{aligned}\text{P.F.} &= \text{kW} / \text{kVA} \\ &= 400 / 658.2 \\ &= 0.61 \\ &= 61 \%\end{aligned}$$

10

ตัวอย่าง โรงงานแห่งหนึ่งใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย , 400 / 230 V
มีโหลดต่าง ๆ ดังนี้

- แสงสว่าง 120 kVA , P.F. 50 % Lagging
- มอเตอร์ 220 kW , P.F. 80 % Lagging
- ความร้อน 100 kW , P.F. 100 %

ให้คำนวณหา kVA รวม และ P.F.รวม

11

แสงสว่าง

$$\text{Real Power} = 120 \times 0.5 = 60 \text{ kW}$$

$$\text{Reactive Power} = \sqrt{(120^2 - 60^2)} = 103.9 \text{ kVAR}$$

มอเตอร์

$$\text{Real Power} = 220 \text{ kW}$$

$$\text{Apparent Power} = 220 / 0.8 = 275 \text{ kVA}$$

$$\text{Reactive Power} = \sqrt{(275^2 - 220^2)} = 165 \text{ kVAR}$$

ความร้อน

$$\text{Real Power} = 100 \text{ kW}$$

$$\text{Reactive Power} = 0$$

12

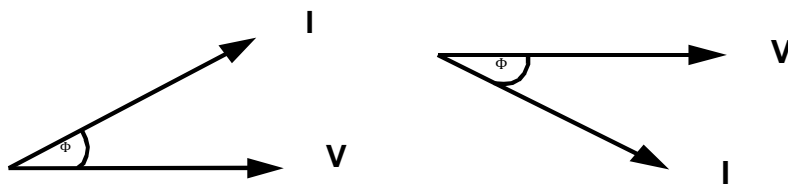
	Real Power (kW)	Reactive Power (kVAR)
แสงสว่าง	60	103.9
มอเตอร์	220	165
ความร้อน	100	0
รวม	380	268.9

$$kVA = \sqrt{(380^2 + 268.9^2)} = 465.5$$

$$P.F = (380 / 465.5) \times 100 = 81.6 \%$$

13

Leading และ lagging Power Factor



กระแสหน้าแรงดัน

P.F. Leading

กระแสตามหลังแรงดัน

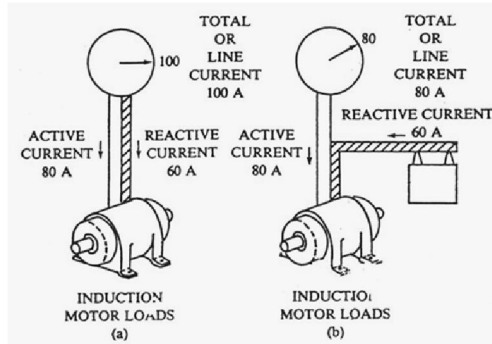
P.F. Lagging

รูปที่ 14.2 P.F. leading และ lagging

โหลดของอุปกรณ์ส่วนมากและระบบไฟฟ้าจะมี P.F. Lagging

14

14.4. พื้นฐานการปรับปรุง Power Factor

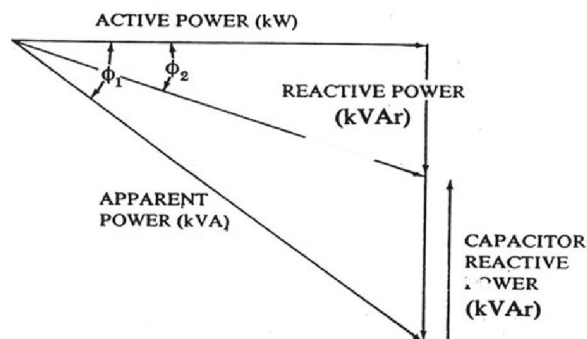


รูปที่ 14.3 การแสดงโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

- a) มอเตอร์รับ Active และ Reactive current จากแหล่งจ่ายไฟรวม 100 A
- b) มอเตอร์รับ Active current 80A จากแหล่งจ่ายไฟ
Reactive current 60A จาก Capacitor

15

การคำนวณหาขนาด Capacitors เพื่อปรับปรุง P.F.



รูปที่ 14.4 การคำนวณหา kVAr ของ Capacitors

16

จากรูป

$$\text{P.F. .ก่อนปรับปรุง} = \cos \phi_1$$

$$\text{P.F. หลังปรับปรุง} = \cos \phi_2$$

$$\text{kVAR} = \text{kW} \times \tan \phi$$

$$\text{kVAR ที่ P.F. ก่อนปรับปรุง} = \text{kW} \times \tan \phi_1$$

$$\text{kVAR ที่ P.F. หลังปรับปรุง} = \text{kW} \times \tan \phi_2$$

$$\text{ดังนั้น kVAR of Capacitors} = \text{kW} \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

17

ตัวอย่างที่ 14.4

โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลด 400 kW,

P.F. 77 % lagging

ต้องการปรับปรุง P.F. ให้เป็น 95 % lagging

จะต้องใช้ Capacitors ขนาดเท่าใด

18

วิธีทำ

$$P.F. \text{ ก่อนปรับปรุง} = \cos \phi_1 = 0.77$$

$$\phi_1 = 39.7^\circ$$

$$P.F. \text{ หลังปรับปรุง} = \cos \phi_2 = 0.95$$

$$\phi_2 = 18.2^\circ$$

$$kVAR \text{ ของ Capacitors} = 400 \times (\tan 39.7^\circ - \tan 18.2^\circ)$$

$$= 400 \times (0.829 - 0.329)$$

$$= 200$$

19

ตารางการหาค่าการปรับปรุง P.F.

Original Power Factor	Corrected Power Factor																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.0
0.50	0.98	1.00	1.03	1.06	1.08	1.11	1.13	1.16	1.19	1.22	1.24	1.27	1.30	1.33	1.36	1.40	1.44	1.48	1.52	1.58	1.73
0.51	2	8	4	0	6	2	9	5	2	0	8	6	6	7	9	3	0	1	7	9	2
0.52	0.93	0.96	0.98	1.01	1.04	1.06	1.09	1.12	1.14	1.17	1.20	1.23	1.26	1.29	1.37	1.35	1.39	1.43	1.48	1.54	1.68
0.53	7	2	9	5	1	7	4	0	7	5	3	1	1	2	4	8	5	6	4	4	7
0.54	0.89	0.91	0.94	0.97	0.99	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.15	1.18	1.21	1.24	1.28	1.31	1.35	1.39	1.44	1.50	1.64
0.55	3	9	5	1	7	3	0	6	3	1	9	7	7	8	0	4	1	2	0	0	3
0.56	0.85	0.87	0.90	0.92	0.95	0.98	1.00	1.03	1.06	1.08	1.11	1.14	1.17	1.20	1.23	1.27	1.30	1.34	1.39	1.45	1.60
0.57	0	6	2	8	4	0	7	3	0	8	6	4	4	4	5	7	1	8	9	7	0
0.58	0.80	0.83	0.86	0.88	0.91	0.93	0.96	0.99	1.01	1.04	1.07	1.10	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.30	1.35	1.41	1.55
0.59	9	5	1	7	3	9	6	2	9	7	5	3	3	4	6	0	7	8	6	6	9
0.60	0.76	0.79	0.82	0.84	0.87	0.89	0.92	0.95	0.97	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15	1.19	1.22	1.26	1.31	1.37	1.51
0.61	9	5	1	7	3	9	6	2	9	7	5	3	3	4	6	0	7	8	6	6	9
0.62	0.73	0.75	0.78	0.80	0.83	0.86	0.88	0.91	0.94	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.15	1.18	1.22	1.27	1.33	1.48
0.63	0	6	2	8	4	0	7	3	0	8	6	4	4	4	5	7	1	8	9	7	0
0.64	0.69	0.71	0.74	0.77	0.79	0.82	0.84	0.87	0.90	0.93	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07	1.11	1.15	1.19	1.23	1.29	1.44
0.65	2	8	4	0	6	2	9	5	2	0	8	6	6	7	9	3	0	1	9	9	2
0.66	0.65	0.68	0.70	0.73	0.75	0.78	0.81	0.83	0.86	0.89	0.92	0.94	0.97	1.01	1.04	1.07	1.11	1.15	1.20	1.26	1.40
0.67	5	1	7	3	9	5	2	8	5	3	1	9	9	0	2	6	3	4	2	2	5
0.68	0.61	0.64	0.67	0.69	0.72	0.74	0.77	0.80	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97	1.00	1.04	1.07	1.11	1.16	1.22	1.36
0.69	9	5	1	7	3	9	6	2	9	7	5	3	3	4	6	0	7	8	6	6	9
0.70	0.58	0.60	0.63	0.66	0.68	0.71	0.74	0.76	0.79	0.82	0.84	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.04	1.08	1.13	1.19	1.33
0.71	3	9	5	1	7	3	0	6	3	1	9	7	7	8	0	4	1	2	0	0	3
0.72	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.73	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.04	1.09	1.15	1.29
0.73	9	5	1	7	3	9	6	2	9	7	5	3	3	4	6	0	7	8	6	6	9
0.74	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.64	0.67	0.69	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.93	0.97	1.01	1.06	1.12	1.26
0.75	6	2	8	4	0	6	3	9	6	4	2	0	0	1	3	7	4	5	3	3	6
0.48	0.50	0.53	0.56	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.72	0.74	0.77	0.80	0.83	0.87	0.90	0.94	0.98	1.03	1.09	1.23	1.37
0.45	0.47	0.50	0.52	0.55	0.58	0.60	0.63	0.66	0.68	0.71	0.74	0.77	0.80	0.83	0.87	0.90	0.95	0.99	1.06	1.20	1.34
0.41	0.44	0.47	0.49	0.52	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.80	0.84	0.87	0.91	0.96	1.02	1.16	1.30
0.38	0.41	0.44	0.46	0.49	0.51	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.80	0.84	0.88	0.93	0.99	1.13	1.27
0.35	0.38	0.41	0.43	0.46	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.81	0.85	0.90	0.96	1.10	1.24
0.32	0.35	0.38	0.40	0.43	0.45	0.48	0.51	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.78	0.82	0.87	0.93	1.07	1.21
0.29	0.32	0.35	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.50	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.84	0.90	1.04	1.18
0.27	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.50	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.69	0.72	0.76	0.81	0.87	1.01	1.15
0.24	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.39	0.42	0.45	0.48	0.50	0.53	0.56	0.59	0.62	0.66	0.70	0.74	0.78	0.84	0.99	1.13
0.21	0.24	0.26	0.29	0.31	0.34	0.37	0.39	0.42	0.45	0.48	0.50	0.53	0.56	0.60	0.63	0.67	0.71	0.76	0.82	0.96	1.10
0.18	0.21	0.23	0.26	0.29	0.31	0.34	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.64	0.68	0.73	0.79	0.93	1.07
0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.28	0.31	0.34	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.58	0.61	0.65	0.70	0.76	0.90	1.04

ตารางการหาค่าการปรับปรุง P.F. (ต่อ)

Original Power Factor	Corrected Power Factor																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.0
0.76	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.26	0.28	0.31	0.34	0.37	0.39	0.42	0.46	0.49	0.52	0.56	0.60	0.65	0.71	0.85
0.77	5	1	7	3	9	5	2	8	5	3	1	9	9	0	2	6	3	4	2	2	5
0.78	0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.26	0.28	0.31	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57	0.62	0.68	0.82
0.79	9	5	1	7	3	9	6	2	9	7	5	3	3	4	6	0	7	8	6	5	9
0.80	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.26	0.29	0.31	0.34	0.37	0.40	0.43	0.47	0.51	0.55	0.59	0.65	0.80
0.81	2	8	4	0	6	2	9	5	2	0	8	6	6	7	9	3	0	1	9	9	2
0.82	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.52	0.57	0.63	0.77
0.83	6	2	8	4	0	6	3	9	6	4	2	0	0	1	3	7	4	5	3	3	6
0.84	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.42	0.45	0.49	0.54	0.60	0.75
0.85	0	6	2	8	4	0	7	3	0	8	6	4	4	5	7	1	8	9	7	9	0
0.86	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.36	0.39	0.43	0.47	0.52	0.58	0.72	0.87
0.87	0	6	2	8	4	1	7	4	2	0	8	8	9	1	5	2	3	1	1	4	6
0.88	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.40	0.44	0.49	0.55	0.69	0.89	0.99
0.89	0	6	2	8	5	1	8	6	4	2	2	3	5	9	6	7	5	5	8	8	0
0.90	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46	0.52	0.67	0.92	0.99	0.99
0.91	0	6	2	9	5	2	0	8	6	6	7	9	3	0	1	9	9	2	2	2	0
0.92	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.44	0.50	0.64	0.92	0.99	0.99	0.99
0.93	0	6	3	9	6	4	2	0	0	1	3	7	4	5	3	3	6	4	7	0	0
0.94	0.02	0.05	0.08	0.10	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.41	0.47	0.53	0.61	0.73	0.92	0.99	0.99	0.99
0.95	0	7	3	0	8	6	4	4	5	7	1	8	9	7	7	0	7	7	0	0	0
0.96	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.44	0.50	0.64	0.92	0.99	0.99	0.99
0.97	0	6	3	1	9	7	7	8	0	4	1	2	4	8	5	6	4	4	7	0	0
0.98	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.23	0.26	0.30	0.34	0.39	0.44	0.50	0.64	0.92	0.99	0.99	0.99	0.99
0.99	0	6	3	1	9	7	7	8	0	4	1	2	4	8	5	6	4	4	7	0	0

14.5 ประโยชน์ของการปรับปรุง P.F.

การปรับปรุง P.F. ของระบบไฟฟ้าสูงขึ้นจะ
ให้ประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. ระบบไฟฟ้าสามารถรับโหลดได้เพิ่มขึ้น
2. ระดับแรงดันเพิ่มขึ้น
3. กำลังสูญเสียของระบบลดลง
4. ลดค่า kVAR Charge

1. ระบบไฟฟ้าสามารถรับโหลดได้เพิ่มขึ้น

- P.F. สูงขึ้น kVA ของโหลดลดลง
- ทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดได้มากขึ้น

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง และสายไฟฟ้า
จ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้น

23

ตัวอย่างที่ 14.5

Real or Active Power (kW)

ของโหลดเท่าเดิม Apparent Power (kVA)

จะมีค่าลดลงเมื่อ P.F. เพิ่มขึ้น ดังตาราง

วิธีทำ

Power Factor (%)	60	70	80	90	100
Real or Active Power (kW)	600	600	600	600	600
Reactive Power (kVAR)	800	612	450	291	0
Apparent Power (kVA)	1,000	857	750	667	600

24

ตัวอย่างที่ 14.6

ถ้า Apparent Power (kVA) ของระบบคงที่
ระบบจะสามารถจ่าย Real or Active Power (kW) เพิ่มขึ้น
ถ้า P.F.เพิ่มขึ้น ดังตาราง

วิธีทำ

Power Factor (%)	60	70	80	90	100
Real or Active Power (kW)	360	420	480	540	600
Reactive Power (kVAr)	480	428	360	262	0
Apparent Power (kVA)	600	600	600	600	600

25

2. ระดับแรงดันเพิ่มขึ้น

แรงดันตกระหว่างสายหาได้จาก

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \phi + X \sin \phi)$$

โดยที่

I = กระแสสาย (A)

R = ความต้านทานทางเดียว (Ω)

X = รีแอกแตนซ์ทางเดียว (Ω)

ϕ = มุมของ P.F

เมื่อปรับปรุง P.F. ให้สูงขึ้น I จะลดลง ϕ จะมีค่าเล็กลง
ทำให้ ΔV มีค่าลดลง

26

ตัวอย่างที่ 14.7

มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ขนาด 37 kW , 380 V

มีกระแสเต็มพิกัด 75 A P.F. 82 %

อยู่ห่างจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 150 m

ใช้สายไฟฟ้าขนาด 50 mm² ถ้าปรับปรุง P.F.

ให้เป็น 95 % จงหาแรงดันตกก่อนและหลังปรับปรุง P.F.

กำหนด $R = 0.424 \ \Omega / \text{km}$

และ $X = 0.284 \ \Omega / \text{km}$

27

วิธีทำ

ก่อนปรับปรุง P.F.

$$\cos \phi_1 = 0.82$$

$$\sin \phi_1 = 0.572$$

$$\Delta V = \sqrt{3} \times 75 \times \left(\frac{0.424}{1000} \times 150 \times 0.82 + \frac{0.284}{1000} \times 150 \times 0.572 \right)$$

$$= 9.94 \text{ V}$$

28

หลังปรับปรุง P.F.

$$\begin{aligned} I &= 75 \times 0.82 / 0.95 \\ &= 64.7 \text{ A} \\ \cos \phi_2 &= 0.95 \\ \sin \phi_2 &= 0.312 \\ \Delta V &= \sqrt{3} \times 64.7 \times \left(\frac{0.424}{1000} \times 150 \times 0.95 + \frac{0.284}{1000} \times 150 \times 0.312 \right) \\ &= 8.26 \text{ V} \end{aligned}$$

29

แรงดันตกในหม้อแปลง

$\% \Delta V$ (เพิ่มขึ้น)

$$\begin{aligned} &= \text{Capacitors kVAR} \times \frac{\% \text{Transformer Impedance}}{\text{Transformer kVA}} \\ &= \text{kVAR} \times \frac{U_t}{\text{kVA}} \end{aligned}$$

30

ตัวอย่างที่ 14.8

ถ้าติดตั้ง Capacitors 200 kVAR เข้ากับ

หม้อแปลง 1,000 kVA

$U_t = 6\%$ แรงดันจะเพิ่มขึ้นเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \% \Delta V (\text{เพิ่มขึ้น}) &= \frac{\text{kVAR} \times U_t}{\text{kVA}} \\ &= \frac{200 \times 6}{1000} \\ &= 1.2 \% \end{aligned}$$

31

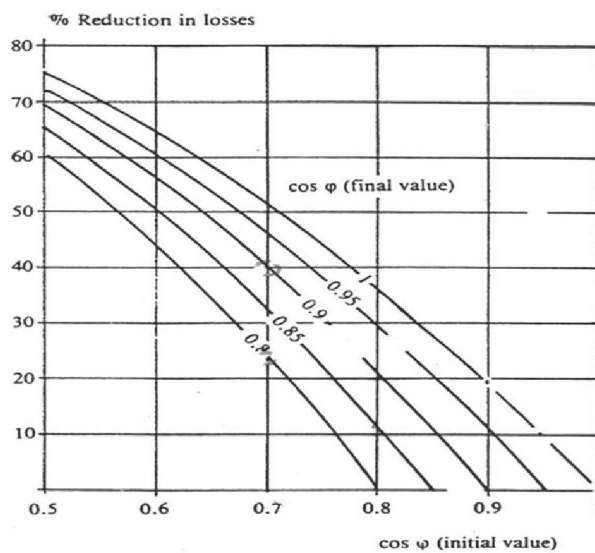
3. กำลังสูญเสียของระบบลดลง

กำลังสูญเสียในตัวนำไฟฟ้าของระบบ เป็นสัดส่วนกำลังสองของกระแส เมื่อปรับปรุง P.F. ให้สูงขึ้น ทำให้กระแสลดลง ดังนั้นกำลังสูญเสียจึงเป็นสัดส่วนกลับกับ P.F. กำลังสอง

$$\% \text{ Loss Reduction} = 100 \times [1 - (P.F._1 / P.F._2)^2]$$

$$\text{Loss Reduction} = \text{Loss at P.F.}_1 \times [1 - (P.F._1 / P.F._2)^2]$$

32



รูปที่ 14.5 % Reduction in Losses จากการปรับปรุง P.F.

33

ตัวอย่างที่ 14.9

โรงงานแห่งหนึ่งใช้หม้อแปลงขนาด 1,000 kVA , 22 kV/400-230 V
 จ่ายโหลด 600 kW , 800 kVAR เมื่อปรับปรุง P.F. ให้ได้ 95 %
 จะลดกำลังสูญเสียในหม้อแปลงได้เท่าใด
 กำหนดให้กำลังสูญเสียในหม้อแปลง
 ที่ก่อนการปรับปรุง P.F. = 13,500 W

34

วิธีทำ

ก่อนการปรับปรุง P.F.

$$\begin{aligned} \text{kVA} &= \sqrt{\text{kW}^2 + \text{kVAR}^2} \\ &= \sqrt{600^2 + 800^2} \\ &= 1,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{P.F.}_1 &= \text{kW} / \text{kVA} \\ &= 600 / 1000 \\ &= 0.6 \end{aligned}$$

35

หลังการปรับปรุง P.F.

$$\begin{aligned} \text{P.F.}_2 &= 0.95 \\ \text{กำลังสูญเสียลดลง} &= \text{Loss Reduction} \\ &= \text{Loss at P.F.1} \times [1 - (\text{P.F.}_1 / \text{P.F.}_2)^2] \\ &= 13,500 \times [1 - (0.6 / 0.95)^2] \\ &= 8,115 \text{ W} \end{aligned}$$

36

4. ลดค่า kVAR Charge

- ตามอัตราไฟฟ้าใหม่ได้เพิ่มการปรับค่า kVAR ส่วนเกิน

จาก 14.02 บาท / kVAR เป็น 56.07 บาท / kVAR

ถ้าค่า P.F ต่ำกว่า 0.85

37

การคำนวณ kVAR ที่เกิน

- $\text{kVAR (Over)} = \text{kVAR (Read)} - \text{kW (Peak)} \ 0.6197$

- ค่า 0.6197 ได้มาจาก

$$\cos \phi = 0.85 \quad \phi = 31.79^\circ$$

$$\tan \phi = 0.6197$$

- การไฟฟ้าฯ ต้องการ PF ไม่ต่ำกว่า, 0.85 Lagging

ปัจจุบันในหลายประเทศ จะ ปรับปรุง PF ให้ได้ 0.90 – 0.95

38

ตัวอย่าง ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 มีค่าดังนี้
 ขนาดหม้อแปลง 1000 kVA 22 kV / 400 V
 Load loss 13.5 kW
 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 500 kW
 ความต้องการ Reactive Power 510 kVAR

39

$$\begin{aligned} \text{ค่า kVA} &= \sqrt{(500^2 + 510^2)} = 714 \\ \text{ค่า P.F.} &= 500 / 714 = 0.70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kVAR (Over)} &= \text{kVAR (Read)} - \text{kW (Peak)} \times 0.6197 \\ &= 510 - 500 \times 0.6197 \\ &= 200 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราค่าไฟฟ้าเดิมโดนปรับ} &= 200 \times 14.02 \\ &= 2,804 \text{ บาท} \\ \text{อัตราค่าไฟฟ้าใหม่โดนปรับ} &= 200 \times 56.07 \\ &= 11,214 \text{ บาท} \end{aligned}$$

40

- ถ้าปรับปรุง P.F. ให้ได้ ประมาณ 0.90
 โดยใช้ Capacitor Bank 6 x 50 kVAR
 ราคา Capacitor bank + อุปกรณ์ = 250,000 บาท
 จะคืนทุน $250.000 / 11.214 = 22$ เดือน
- ความจริงจะคืนทุนได้เร็วกว่านี้ ถ้าคิดค่า
Demand Charge
Energy Charge

41

14.6 Capacitor แรงดันต่ำ

- LV Capacitor ปัจจุบันนิยมใช้แบบ Dry Type
- LV Capacitor แบบ Dry Type
 ใช้ Polypropylene เป็น Dielectric
 Polypropylene เป็น Dielectric ที่มี Permittivity สูง ,
 จุด Breakdown สูง
 ทำให้สามารถ ลดความหนา ลงได้
 ค่า Capacitance จึงมีค่าสูง

42

Capacitor แรงดันต่ำ (ต่อ)

- LV Capacitor จะมีขนาด Compact
- Loss ลดลงเหลือประมาณ 0.2 W / kVAR
- Polypropylene Film ที่ใช้เป็น Dielectric จะถูก Metalized ด้วย Zinc / Aluminium Alloy ซึ่งใช้เป็น Electrodes
- เรียก Capacitor แบบนี้ว่า MKP Capacitor

43

14.6.1 Impregnation

เมื่อมีความชื้นและอากาศเข้าไปภายในตัว Capacitor จะทำให้เกิด Oxidation ที่ Electrode ทำให้อายุ Capacitor สั้นลง ดังนั้นจำเป็นต้อง Impregnate สารบางอย่างเข้าไป
ขณะนี้ มี 2 แบบ คือ

- 1) Gas Impregnation
- 2) Resin Impregnation

44

Gas Impregnation

ใช้ Inert Gas อัดเข้าภายใน Gas ที่ใช้คือ Nitrogen
ต้อง Impregnation ภายใต้ Vacuum

Resin Impregnation

Resin ที่ใช้เป็นแบบ Non – PCB
และ Biodegradable คือไม่เป็นพิษ
และถูกสลายโดยธรรมชาติได้

45

14.6.2 Self – Healing

เนื่องจาก Dielectric ที่ใช้บางมาก ดั้งนั้นเวลาใช้งาน
อาจมี Thermal หรือ Electrical Overload ได้
อาจทำให้เกิด Breakdown การ Breakdown
จะทำให้ Dielectric layers แยกจากกัน และ Metal
ที่บริเวณ Faulty area จะถูก Burn out
ขบวนการนี้ จะทำให้เกิด Isolation ของ Faulty Area
ค่า Capacitance ลดลงเพียงเล็กน้อย
น้อยกว่า 100 pF ต่อครั้ง Capacitor
จะยังคงใช้งานต่อไปได้
ขบวนการนี้ เรียกว่า Self – Healing process

46

14.6.3 Inrush Current

เมื่อต่อ Capacitor เข้า จะเกิดกระแสพุ่งเข้า
Capacitor ชั่วเดียว Inrush Current
มีขนาดเป็นหลายเท่ากระแสปกติ อาจถึง 40 In
สำหรับ Automatic Capacitor Bank
Capacitor Step สุดท้าย จะมี Inrush Current สูงสุด
เนื่องจาก Capacitor ที่ต่ออยู่แล้ว
จะจ่ายกระแสเข้าด้วย
ทำให้ Inrush Current อาจสูงถึง 200 In

47

**Inrush Current ที่สูงนี้ มีผลต่ออายุการใช้งาน Capacitor
และ Magnetic Contactors**

การแก้ปัญหา Inrush ทำได้ 2 แนวทาง คือ

- 1) ต่อ Current Limiting Reactor CLR
อนุกรมเข้ากับ Capacitor
- 2) ต่อ Current Limiting Resistor
อนุกรมเข้ากับ Capacitor

48

14.6.4 Discharge Devices

เมื่อต่อ Capacitors เข้ากับระบบไฟฟ้า
จะมีประจุไฟฟ้าเก็บไว้ในตัว Capacitor
ดังนั้นเมื่อตัด Capacitor ออกจากระบบ ประจุไฟฟ้า
เหล่านี้จะยังคงค้างอยู่ ซึ่งอาจเป็นอันตรายได้
ตามมาตรฐาน IEC 60831-1-2
จะต้องมี Discharge Devices เพื่อลดแรงดันให้
ไม่เกิน 75 V ภายใน 3 นาที
โดยทั่วไปในการออกแบบ จะลด
ให้เหลือ 50 V ภายใน 1 นาที

49

Discharge Devices ที่ใช้มี 2 แบบ คือ

- 1) Discharge Resistors**
- 2) Discharge Reactor**

50

Discharge Resistors

ใช้ Resistors ขนาดที่คำนวณได้
ติดเข้าที่ขั้ว Capacitor อย่างถาวร
วิธีนี้ง่ายและราคาถูก แต่จะมี Loss ที่ตัว Resistors
ตลอดเวลาใช้งาน

Discharge Reactors

ใช้ Reactors ต่อเข้าที่ขั้ว Capacitor ขณะใช้งาน Reactor
จะมีค่า Reactance สูง กระแสต่ำ Loss จะน้อยมาก
เมื่อตัด Capacitor ออก Reactor จะมี D.C Resistance ต่ำ
ทำให้ Discharge ได้รวดเร็ว

51

14.6.5 Overpressure Disconnecter

Capacitor มีอายุการใช้งานประมาณ 100,000 – 130,000 ชม.
และถ้า แรงดันเกิน หรืออุณหภูมิสูง อายุก็จะสั้นลง
เมื่อเกิด Self – Healing ขึ้นหลาย ๆ ครั้ง
อายุของ Capacitor ก็ยิ่งสั้นลง จนหมดอายุลง
เมื่อ Capacitor หมดอายุลง ก็เหมือนหลอดดวงจร
กระแสจะสูงขึ้นมาก และ เกิดความดันเพิ่มขึ้น
ภายใน Unit ดังนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์
เพื่อตัด Capacitor ออกจากวงจร
อุปกรณ์นี้คือ Pressure Sensitive Disconnecter

52

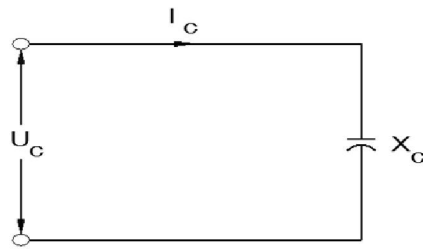


รูปที่ 14.6 Capacitor แรงดันต่ำ

14.7 พิกัด LV Capacitors

- Capacitors พิกัดขึ้นอยู่กับค่า Capacitance
- Capacitance ของ Capacitors มีหน่วยเป็น F (Farad)
หรือ μF (Micro Farad)

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$



รูปที่ 14.7

$$I_C = \frac{V}{X_C} = 2\pi f C V$$

$$\text{VAR} = V I_C = 2\pi f C V^2$$

$$\text{kVAR} = \frac{2\pi f C V^2}{1000}$$

55

- Reactive Power ของ Capacitors
หน่วยเป็น kVAR

- แปรตามแรงดันยกกำลังสอง

$$\text{kVAR}_2 = \text{kVAR}_1 (V_2 / V_1)^2$$

56

ตัวอย่างที่ 14.10

Capacitors พิกัด 80 kVAR , 525 V.

ใช้งานที่แรงดัน 400 V

กำลังไฟฟ้า Reactive จะเป็นเท่าใด

57

วิธีทำ

$$\text{kVAR}_2 = \text{kVAR}_1 (V_2 / V_1)^2$$

$$= 80 (400 / 525)^2$$

$$= 46 \text{ kVAR}$$

58

14.8 วิธีการปรับปรุง P.F. (Method of Compensation)

Capacitors เพื่อปรับปรุง P.F. อาจติดตั้ง ได้ 4 ลักษณะคือ

1. Individual Compensation
2. Group Compensation
3. Central Compensation
4. Combined Compensation

59

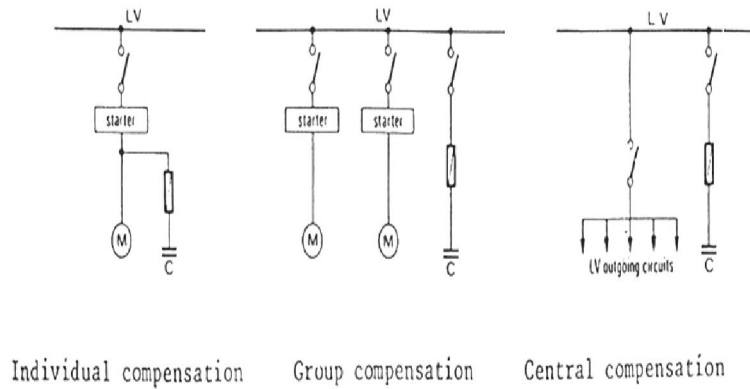
วิธีการปรับปรุง P.F.

คะแปซิเตอร์สามารถติดตั้งตามจุดต่าง ๆ
ในระบบไฟฟ้าซึ่งอาจแยก
เป็น 4 ลักษณะของการปรับปรุง P.F. คือ

- การปรับปรุงที่ตัวอุปกรณ์ (Individual Compensation)
- การปรับปรุงเป็นกลุ่ม (Group Compensation)
- การปรับปรุงรวม (Central Compensation)

60

การติดตั้ง Capacitors แบบต่าง ๆ



รูปที่ 14.8 ตำแหน่งการติดตั้ง Capacitors

61

1 การปรับปรุงที่ตัวอุปกรณ์ (Individual Compensation)

- ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญ
ที่ต้องการ **Reactive Power** ที่แน่นอน เช่น
หม้อแปลง มอเตอร์ เป็นต้น
- กำลังสูญเสียที่สายไฟที่เข้าอุปกรณ์ลดลง
- สามารถจ่าย **Reactive Power** ไปที่โหลดที่ต้องการจริง ๆ

62

2 การปรับปรุงเป็นกลุ่ม (Group Compensation)

- ถ้าโหลดสามารถรวมเป็นกลุ่มที่ใช้งานพร้อม ๆ กัน
- สามารถปรับปรุง P.F. ได้โดยติดตั้ง **Capacitors** ชุดเดียว
- เช่น มอเตอร์ขนาดเล็กหลาย ๆ ตัวทำงานพร้อมกัน

63

3. การปรับปรุงแบบรวม (Central Compensation)

- ใช้กับสถานประกอบการขนาดใหญ่
ที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมากที่ทำงานไม่พร้อมกัน
- ความต้องการ **Reactive Power** เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
- การปรับปรุง P.F. ทำได้ต่อ **Capacitors**
เข้าที่แผงสวิตช์ไฟใหญ่
- การควบคุม ทำได้ด้วย
Manual Control
Automatic Control

64

4. การปรับปรุงผสม (Combined Compensation)

- ปรับปรุง P.F. ที่อุปกรณ์หลักแบบ
Individual Compensation
- ปรับปรุง P.F. ที่เป็นกลุ่ม
Group Compensation
- ปรับปรุง P.F. รวมของโหลดที่เหลือที่ทำงานไม่ต่อเนื่อง
และไม่พร้อมกัน

65

14.9 การควบคุม Capacitors แบบอัตโนมัติ

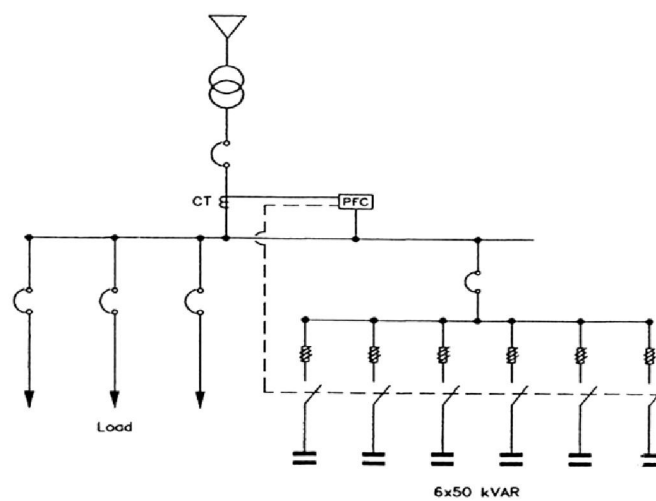
- ใช้สำหรับการปรับปรุง P.F.
ของโหลดที่ไม่คงที่
และต้องการ **Reactive Power** ไม่คงที่
- ระบบจะตัดต่อ **Capacitors** เข้าให้เหมาะสม
กับโหลดตลอดเวลา

66

ระบบควบคุม Capacitors แบบอัตโนมัติ
มีประกอบที่สำคัญดังนี้

- Capacitors หลายตัวต่อขนานกัน
- Power Factor Controller (P.F.C.)
- คอนแทคเตอร์
- ฟิวส์ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์

67



รูปที่ 14.9 Single Line Diagram ของระบบควบคุม capacitors แบบอัตโนมัติ

68

โปรแกรมการตัดต่อ Capacitors

1) การทำงานแบบหลายขั้น (Multi Step Operation)

- มี Capacitors ขนาดเท่ากันหรือต่างกันหลายชุด
- การสับ Capacitors เข้าออกตาม Program ที่ตั้งไว้

69

ตารางที่ 14.2 โปรแกรม 1: 1: 1: 1: 1: 1

Stage	1	2	3	4	5	6														
Capacitor																				
1	10	X	X	X	X	X	X													
2	10		X	X	X	X	X													
3	10			X	X	X	X													
4	10				X	X	X													
5	10					X	X													
	10						X													
KVAR	10	20	30	40	50	60														

- Capacitors ทุกตัวมีขนาดเท่ากัน
- การสับเข้าเป็นไปตามลำดับ

70

ตารางที่ 14.3 โปรแกรม 1 : 2 : 2 : 2 : 2 : 2

Stage		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
Capacitor																		
1	10	X		X		X		X		X		X						
2	20		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
3	20				X	X	X	X	X	X	X	X						
4	20						X	X	X	X	X	X						
5	20								X	X	X	X						
6	20										X	X						
kVA																		
R		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110						

- Capacitor ตัวแรกมีขนาด 1 หน่วย ตัวที่เหลือมีขนาด 2 หน่วย
- การสับเข้าตาม kVAR ที่ต้องการ

71

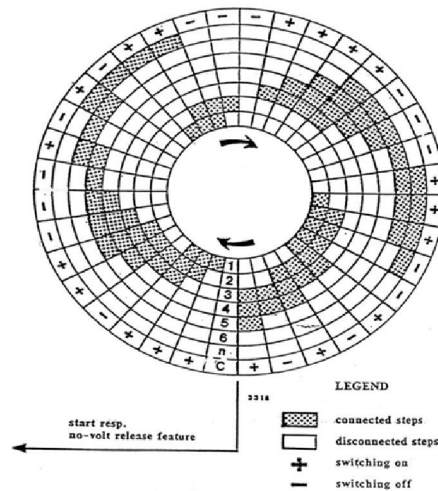
ตารางที่ 14.4 โปรแกรม 1 : 2 : 4 : 4 : 4

Stage		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Capacitor																
1	10	X		X		X		X		X		X		X		X
2	20		X	X		X	X			X	X			X	X	
3	40				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	40								X	X	X	X	X	X	X	X
5	40												X	X	X	X
kVAR		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150

- Capacitor ตัวแรกมีขนาด 1 หน่วย ตัวที่สองขนาด 2 หน่วย ตัวที่เหลือมีขนาด 4 หน่วย

72

2.) การทำงานแบบวงรอบ (Cyclic Operation)



รูปที่ 14.10 แสดงการทำงานแบบวงรอบ (Cyclic Operation)

73

Cyclic Operation

- Capacitor ตัวที่เข้าก่อน ต้องออกก่อน
- ถ้า P.F. ของระบบมีค่าต่ำกว่าที่ตั้งไว้ PFC จะสั่งให้ Capacitor ตัวที่ 1, 2, 3 เข้าตามลำดับ
- ถ้าโหลดลดลง ความต้องการ Reactive Power ลดลง PFC จะสั่งให้ปลด Capacitor ตัวที่ 1 ออก
- ต่อมาถ้าโหลดเพิ่มขึ้น ความต้องการ Reactive Power มากขึ้น PFC จะสั่งให้ต่อตัวที่ 4, 5 เข้าตามลำดับ
- และถ้าโหลดลดลง PFC จะสั่งปลดตัวที่ 2, 3 ออกตามลำดับ
- ดังนั้น Capacitors ทุกตัวจะมีโอกาสใช้งานพอ ๆ กัน

74

14.10 การหา ขนาด สาย CB , Fuse สำหรับ Capacitors

ขนาดสาย

$$I_c = 1.3 \times 1.1 \times I_n$$
$$= 1.43 I_n$$

โดยที่

$$I_c = \text{ขนาดสายไฟฟ้า (A)}$$

$$I_n = \text{พิกัดกระแสของ Capacitors (A)}$$

75

ขนาด CB , Fuse

$$I_{CB} = I_{Fuse} = 1.3 \times 1.15 \times I_n$$
$$= 1.495 I_n$$
$$= 1.50 I_n$$

76

ตัวอย่างที่ 14.11

Capacitors ขนาด 50 kVAR, 400 V
จะต้องใช้สายไฟฟ้า และ Fuse เท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} I_n &= (50 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 400) \\ &= 72 \text{ A} \\ I_c &= 1.43 \times 72 \\ &= 103 \text{ A} \end{aligned}$$

77

สายไฟฟ้า

ใช้สาย 3 x 50 mm² (119 A)

Fuse , CB

$$\begin{aligned} I_{\text{Fuse}} &= 1.50 \times 72 \\ &= 108 \text{ A} \end{aligned}$$

ใช้ Fuse ขนาด 125 A

78

14.11 ขนาดพิกัดรวม ของ Capacitor ในระบบไฟฟ้า

สำหรับระบบที่ทราบขนาดของหม้อแปลงแล้ว
ถ้าต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
จาก 80 % เป็น 95 % Lagging
จะต้องใช้ Capacitor ขนาด 30 % พิกัดหม้อแปลง

$$\text{kVAR (Capacitor)} = 30\% \text{ kVA (Transformer)}$$

79

ตัวอย่างที่ 14.12

หม้อแปลง 1000 kVA, P.F. ของโหลด 70 % Lagging
ต้องปรับปรุงให้ได้

- 85 % Lagging
- 90 % Lagging
- 95 % Lagging

80

วิธีทำ

จะต้องใช้ Capacitors ขนาดเท่าใด ก่อนปรับปรุง

$$\text{P.F.} = 70\% \text{ Lagging}$$

$$\begin{aligned}\phi &= \cos^{-1} 0.7 \\ &= 45.6^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{kW} &= \text{kVA} \times \text{P.F.} \\ &= 1000 \times 0.7 \\ &= 700\end{aligned}$$

81

ปรับปรุงให้ได้ 85 % Lagging

$$\text{P.F. } 85\% \text{ Lagging} = \cos\phi_2$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} 0.85 = 31.8^\circ$$

$$\therefore \text{kVAR of Capacitor} = \text{kW} \times (\tan 45.6^\circ - \tan 31.8^\circ)$$

$$= 700 \times (\tan 45.6^\circ - \tan 31.8^\circ)$$

$$= 281 \text{ kVAR}$$

82

ปรับปรุงให้ได้ 90 % Lagging

$$\text{P.F. 90\% Lagging} = \cos\phi_2$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} 0.90 = 25.8^\circ$$

$$\therefore \text{kVAR of Capacitor} = \text{kW} \times (\tan 45.6^\circ - \tan 25.8^\circ)$$

$$= 700 \times (\tan 45.6^\circ - \tan 25.8^\circ)$$

$$= 376 \text{ kVAR}$$

83

ปรับปรุงให้ได้ 95 % Lagging

$$\text{P.F. 95\% Lagging} = \cos\phi_2$$

$$= \cos^{-1} 0.95 = 18.2^\circ$$

$$\therefore \text{kVAR of Capacitor} = \text{kW} \times (\tan 45.6^\circ - \tan 18.2^\circ)$$

$$= 700 \times (\tan 45.6^\circ - \tan 18.2^\circ)$$

$$= 485 \text{ kVAR}$$

เพื่อความสะดวกขนาด Capacitors อาจคิดเป็น
30% ของพิกัดหม้อแปลง

84

ตัวอย่างที่ 14.13 สถานประกอบการแห่งหนึ่ง
ใช้หม้อแปลงขนาด 1600 kVA

จะต้องใช้ Capacitors พิกัดรวมเท่าใด

ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

85

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{kVAR of Capacitor} &= 30 \% \text{ ของพิกัดหม้อแปลง} \\ &= 0.30 \times 1600 \\ &= 480 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

ใช้ Capacitors ตัวละ 50 kVAR รวม 10 ตัว

$$50 \times 10 = 500 \text{ kVAR}$$

86

14.12 Harmonic กับการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

Harmonic ในระบบไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว
เนื่องจากการใช้เพิ่มขึ้นของ **Non-linear Loads**
โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านี้ส่วนมาก
มาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
และมีผลทำให้คุณภาพ (**Power Quality**)
ของระบบไฟฟ้าเสียไป

87

ปริมาณ Harmonic ในระบบไฟฟ้างำลัง
อาจหาได้จาก **Total Harmonic Distortion (THD)**
ค่า THD สามารถคำนวณกระแสได้ดังนี้

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

88

โดยที่

n = ลำดับของ Harmonic

H = ลำดับสูงสุดของ Harmonic

C_n = ปริมาณ Harmonic ลำดับที่ n (V , A)

C_1 = ปริมาณที่ Fundamental Frequency (V , A)

89

ตัวอย่าง กระแสไฟฟ้ามีค่า

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

ให้หาค่า THD

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

$$= 0.3702 \times 100$$

$$= 37.02 \%$$

90

14.12.1 แหล่งกำเนิด Harmonic

คือ โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Loads)

Harmonic Non-linear Loads อาจแบ่งได้ 3 แบบ

- Power Electronics
- Ferromagnetic Devices
- Arcing Devices

91

1. Power Electronics

โหลดเหล่านี้ คือ

- Rectifiers
- Variable Speed Driver
- UPS
- Inverter

92

2. Ferromagnetic Devices

โหลดเหล่านี้ คือ

- Transformers
- Magnetic Ballasts

93

3. Arcing Devices

โหลดเหล่านี้ คือ

- Arc Furnaces

94

14.12.2 ผลของ Harmonic ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

Harmonic ในระบบไฟฟ้า

จะส่งผลกระทบต่อระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าดังนี้

1. Rectifiers

ทำให้ Misfiring ของ Thyristers

2. Motors

กำลังสูญเสียจะเพิ่มขึ้น และเกิด Harmonic Torque

95

3. Transformers

กำลังสูญเสียจะเพิ่มขึ้น และเกิด Stress ต่อฉนวน

4. Control Equipment

มีการรบกวนต่อการทำงานของระบบควบคุม

อาจทำให้ระบบควบคุมทำงานผิดพลาด

5. สาย Neutral

Harmonic ที่สามจะทำให้สาย Neutral เกิด Overload ได้

96

14.12.3 ผลของ Harmonic ต่อ Capacitors

กระแสที่ไหลผ่าน Capacitors สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$I_c = V / X_c , \quad X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$
$$= 2\pi f C V$$

∴ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น
กระแสที่ไหลเข้า Capacitors จะเพิ่มขึ้น

97

ค่า Capacitive Reactance จะลดลงตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นที่ลำดับ Harmonic สูง ๆ ตัว Capacitors

จะรับกระแส Harmonic มากขึ้น

ทำให้เกิด Heating และ Dielectric Stress

ต่อฉนวนของตัว Capacitor อายุการใช้งานจะสั้นลง

และในบางกรณีจะทำให้เกิดความเสียหายได้

98

14.12.4 การแก้ปัญหา Harmonic

การปรับปรุงตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้า

เป็นเรื่องที่จำเป็นต้องทำแม้ว่าระบบจะมี Harmonic ก็ตาม

99

การปรับปรุงตัวประกอบกำลังสำหรับระบบไฟฟ้า
ที่มีปัญหา Harmonic อาจทำได้ 4 แบบ คือ

- ใช้ Standard Banks
- ใช้ Overrated Banks
- ใช้ Detuned Banks
- ใช้ Tuned Banks

100

การใช้ Standard Banks

ถ้าระบบไฟฟ้ามีแหล่งผลิต Harmonic น้อย คือ

ไม่เกิน 10 - 15 % ของพิกัดหม้อแปลง

และ THD ไม่เกิน 5 %

สามารถใช้ Capacitors Banks มาตรฐานคือขนาดพิกัด

แรงดัน 400V , 415V ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

101

การใช้ Overrated Banks

ถ้าระบบไฟฟ้ามีแหล่งผลิต Harmonic มากขึ้น

ก็ใช้ Capacitors Banks ที่มีพิกัดแรงดันสูงขึ้น

คือ 440 V , 480 V , 500 V หรือ 525 V ได้

102

การใช้ Detuned Banks

ถ้าระบบไฟฟ้ามีแหล่งกำเนิด Harmonic
มากกว่า 20 - 50% ของพิกัดหม้อแปลง
และ THD 10 - 20%

จำเป็นต้องใช้ Filter เข้าช่วย เรียกว่า **Detuned Filter Banks.**

103

การใช้ Tuned Banks

ถ้าระบบไฟฟ้ามีแหล่งกำเนิด Harmonic สูงมาก

และต้องการแก้ปัญหา Harmonic แบบถาวร

จำเป็นต้องใช้ Filter แบบ **Tuned Filter Banks.**

104

Detuned Filter

Detuned Filter เป็น Filter ที่นิยมใช้มากที่สุด
ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ
ประกอบด้วย Reactor ต่ออนุกรมกับ Capacitors
และ Tuned ให้เกิด Resonance ที่ความถี่ค่าหนึ่ง

105

สำหรับ Filter แบบนี้ระดับ Harmonic ที่ Tuned

ให้เกิด Resonance อาจคำนวณได้จากสูตร

$$n_{rs} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

โดยที่

n_{rs} = ระดับ Harmonic

X_C = Capacitive Reactance ของ Capacitors

X_L = Inductive Reactance ของ Reactor

106

Reactor ที่มาต่ออนุกรมกับ Capacitors

จะคิดค่า Reactance เป็น % ของ X_C

$$n_{rs} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} = \sqrt{\frac{100}{\% X_L}}$$

ตัวอย่าง ถ้า Reactor $X_L = 7\%$

Resonance frequency เป็นเท่าใด , $f = 50$ Hz

$$n_{rs} = \sqrt{(100 / 7)} = 3.78$$

$$f_{rs} = 3.78 \times 50 = 189 \text{ Hz}$$

107

ค่า Tuning Frequency ที่นิยมใช้ในการออกแบบ

Detuned Filter มีดังตาราง

ตารางที่ 14.5 Tuning Frequency

$\% X_L$	n_{rs}	f_{rs} (Hz)
5.67	4.20	210
6	4.08	204
7	3.78	189

108

คำถามท้ายบท

- 1) กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้กี่ส่วน อะไรบ้าง
- 2) การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบให้สูงขึ้นจะให้ประโยชน์อะไรบ้าง
- 3) การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง อาจติดตั้ง **Capacitors** ได้กี่แบบอะไรบ้าง

109

คำถามท้ายบท...(ต่อ)

- 4) **Capacitors** ที่ใช้สำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ในแรงดันต่ำปัจจุบันนิยมใช้แบบอะไร
- 5) จงอธิบายการทำงานแบบวงกลม (**Cycle Operation**) ของ **Capacitors** มาพอเข้าใจ
- 6) โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลด **600 kW**, **800 kVAR** กำลังไฟฟ้าเสมือนและ **P.F.** เป็นเท่าใด
- 7) จงเขียน **Phaser Diagram** สำหรับ **P.F. Lagging**

110

คำถามท้ายบท...(ต่อ)

- 8) ระบบไฟฟ้า 1000 kVA, P.F.= 70% Lagging
ต้องการปรับปรุงให้ได้ P.F. = 100%
จะต้องใช้ Capacitors เท่าใด
- 9) Capacitors ขนาด 100 kVAR, 400 V, 3 ph
กระแสฟักัดเท่าใด
- 10) Capacitors ขนาด 100 kVAR, 400 V, 3 ph
ถ้าแรงดันที่ขั้วตกเหลือ 370 V, Reactive Power
จะลดลงเหลือเท่าใด

111

คำถามท้ายบท...(ต่อ)

- 11) การควบคุม Capacitors แบบอัตโนมัติคืออะไร
จงอธิบาย
- 12) Capacitors ขนาด 25 kVAR, 400 V, 3 ph
สายไฟฟ้าต้องมีฟักัดเท่าใด
- 13) Capacitors ขนาด 100 kVAR, 400 V, 3 ph
Fuse ที่ใช้ป้องกันต้องมีขนาดเท่าใด

112

คำถามท้ายบท...(ต่อ)

- 14) หม้อแปลงขนาดพิกัด 1250 kVA, 22 kV / 400 -230 V
ถ้าต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
ต้องใช้ **Capacitors** รวมอย่างน้อยเท่าใด
- 15) การแก้ **Harmonic** สำหรับ **Capacitors**
ด้วยการใช้ **Overrated Banks** คืออะไร จงอธิบาย
- 16) **Detuned Filter** ที่ใช้ **Reactor** ขนาด 6.5 %
Tuning Frequency เป็นเท่าใด

113