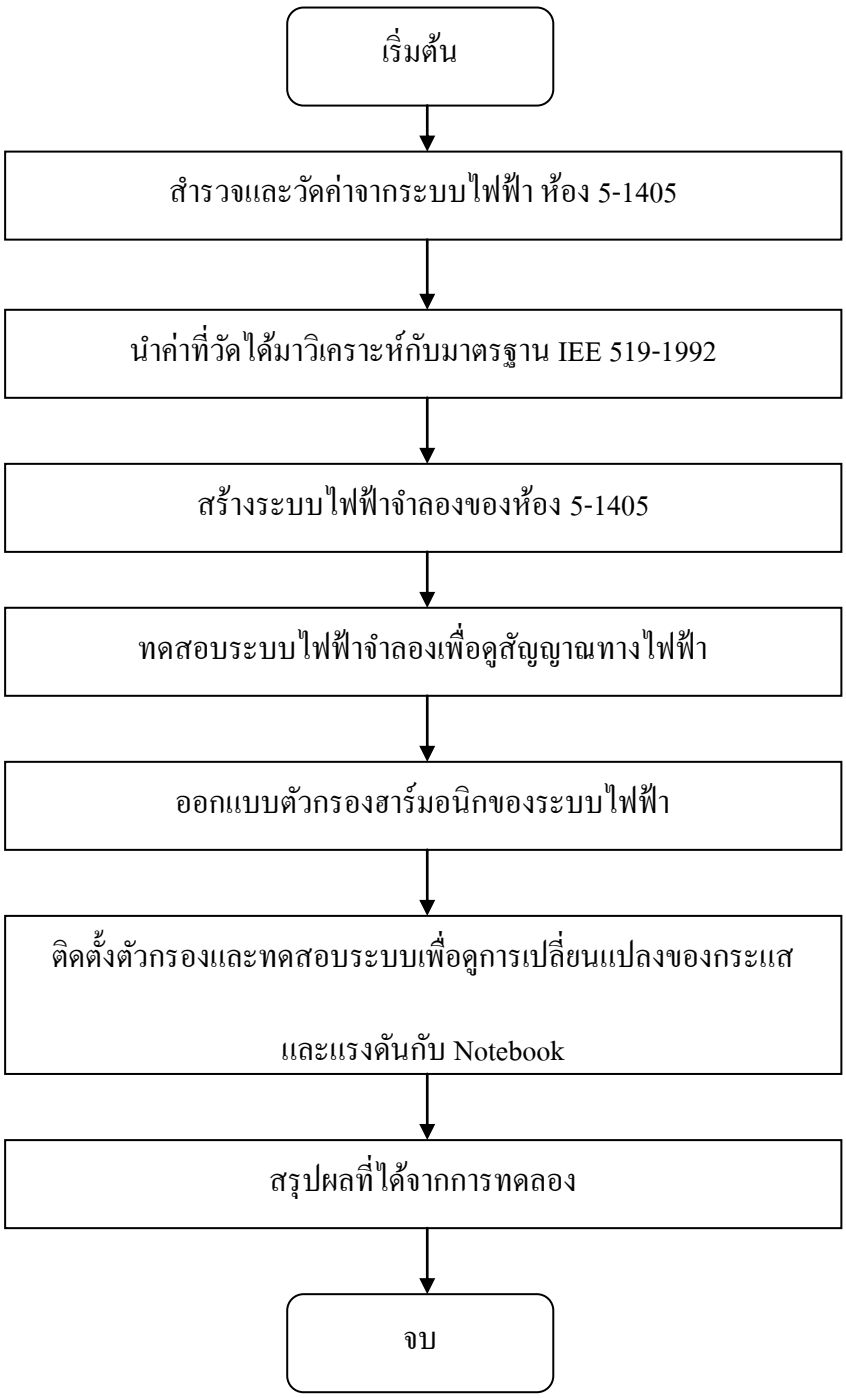
บทที่ 3
การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกและออกแบบตัวกรอง

การวัดและการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกในการศึกษาเรื่องฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้านั้นมีความสำคัญมาก เพราะในปัจจุบันเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงใน ด้านคุณภาพไฟฟ้าเพื่อให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นทางกลุ่มของโครงงานได้ทำการวัดค่าฮาร์มอนิกใน ห้องศูนย์คอมพิวเตอร์ อาคาร 5 ชั้น 14 ห้อง 5-1405 แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดกับค่ามาตรฐาน IEE 519กำหนด แล้วจำลองลักษณะของฮาร์มอนิกต่างๆในระบบจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิกในระบบจำลองระบบไฟฟ้าเพื่อใช้ในการทดสอบผลและกรองปริมาณฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าจำลองต่อไป

ในส่วนของค่าที่ได้จากการวัด ศูนย์คอมพิวเตอร์ อาคาร 5 ชั้น 14 ห้อง 5-1405 เป็นการวัดค่ากระแสกับแรงดัน ซึ่งผลของค่าฮาร์มอนิกนั้นจะเป็นผลเปอร์เซ็นต์ของ THD ของทั้งกระแสและแรงดันในแต่ละเฟส จากนั้นทำการสร้างระบบไฟฟ้าจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในที่นี้ใช้แหล่งจ่ายกระแส ต่ออนุกรมกัน เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกจำลองโหลดคอมพิวเตอร์ และจำลองตัวกรองฮาร์มอนิกส์ จากพารามิเตอร์ ที่คำนวณ ซึ่งผลที่วิเคราะห์นั้น เราจะวิเคราะห์จากรูปสัญญาณกระแสและแรงดัน ไหลออกจากตัวกรองฮาร์มอนิก ว่าตัวกรองที่เราทำการจำลองมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และผลจากการจำลองนั้นจึงนำมาสร้างตัวกรองฮาร์มอนิกสำหรับติดตั้งใช้จริงของห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับ ฮาร์มอนิก คุณภาพไฟฟ้าและการทำงานของตัวกรองฮาร์มอนิกแบบ DTUNE และ TUNE ซึ่งแสดงแผนการทำงานดัง ภาพ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงการดำเนินงาน

3.1 ข้อมูลค่าวัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกของอาคาร 5 ห้อง 5-1405

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการวัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกของอาคาร 5 ชั้น 14 ห้อง 5-1405 เฟส a

ลำดับฮาร์มอนิก	เฟส a			
	กระแส (A)		แรงดัน (V)	
	I	%THD	V	%THD
1	1.9	100%	221.8	100%
3	1.6	84.90%	4.9	2.20%
5	1.1	55.30%	4.4	2.00%
7	0.5	29.30%	2	0.90%
9	0.1	3.80%	1.6	0.60%
11	0.2	9.70%	1.3	0.60%
13	0.2	10.70%	0.7	0.30%
15	0.1	5.00%	0.7	0.30%
17	0	1.50%		
19	0.1	5.60%		
21	0.1	5.50%		
23	0	2.20%		
25	0	1.40%		

จากผลการวัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิก ดังตาราง 3.1 จะเห็นได้ว่าค่ากระแส ฮาร์มอนิกอันดับต่างๆนั้นมีค่าที่เกินมาตรฐาน IEEE 519 ส่วนแรงดัน ฮาร์มอนิกนั้นมีค่าที่อยู่ในมาตราฐานกำหนด

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลการวัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกของอาคาร 5 ห้อง 5-1405 เฟส b

ลำดับฮาร์มอนิก	เฟส b			
	กระแส (A)		แรงดัน (V)	
	I	%THD	V	%THD
1	2	100%	224	100%
3	1.5	83.10%	4.5	2.20%
5	1	56.70%	4.5	2.00%
7	0.5	27.70%	2.2	1.00%
9	0.1	7.30%	0.9	0.50%
11	0.1	8.20%	1.8	0.70%
13	0.2	8.00%	0.7	0.30%
15	0.1	3.00%	0.4	0.20%
17	0	1.60%		
19	0.1	2.70%		
21	0.1	3.20%		
23	0	1.50%		
25	0	0.80%		

จากผลการวัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกดังตารางที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกอันดับต่างๆนั้นมีค่าเกินมาตรฐาน IEEE 519 ระบุไว้ว่ากระแสฮาร์มอนิกแต่ละอันดับไม่ควรมีกระแสฮาร์มอนิกเกิน 4% ส่วนแรงดันฮาร์มอนิกนั้นมีค่าที่อยู่ในมาตรฐานกำหนดที่ 5%

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลการวัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกของอาคาร 5 ชั้น 14 ห้อง 5-1405 เฟส c

ลำดับฮาร์มอนิก	เฟส c			
	กระแส (A)		แรงดัน (V)	
	I	%THD	V	%THD
1	1.3	100%	223.8	100%
3	1.1	87.80%	4	1.70%
5	0.8	64.90%	4.7	2.10%
7	0.5	37.10%	2.2	1.00%
9	0.2	14.90%	1.3	0.60%
11	0.1	5.30%	0.9	0.40%
13	0.1	9.70%	0	0%
15	0.1	9.40%	0.7	0.20%
17	0.1	5.20%		
19	0	1.80%		
21	0.1	4.30%		
23	0.1	4.10%		
25	0	2.30%		

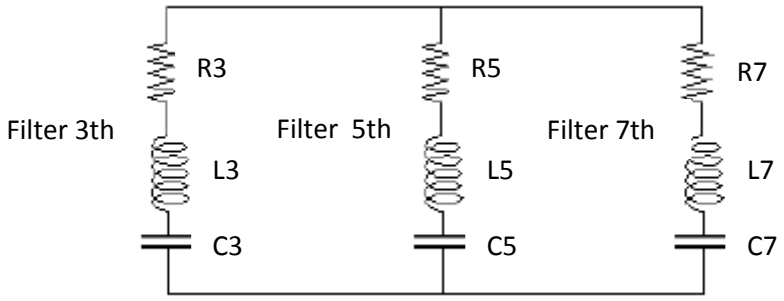
จากผลการวัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกดังตารางที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกอันดับต่างๆนั้นมีค่าเกินมาตรฐาน IEEE 519 ส่วนแรงดันฮาร์มอนิกนั้นมีค่าที่อยู่ ในมาตรฐานกำหนด

ได้ผลการวัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับโดยแสดงผลการวัดฮาร์มอนิกเป็นอันดับคี่ในเฟส c โดยภาพที่ 3.8 เป็นการแสดงเปอร์เซนต์กระแสฮาร์มอนิกของเฟส c จะเห็นว่า % THDi ของอันดับฮาร์มอนิกอันดับ 3 มีค่าสูงสุดที่ 87.80% อันดับ 5 % THDi มีค่า 64.90% และฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 มี %THD 37.10% ซึ่งมีค่าเกินมากกว่ามาตรฐาน IEEE 519

3.2 การออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิก

ในการออกแบบตัวกรองนั้นนำค่าที่วัดของ อาคาร 5 ชั้น 14 ห้อง 5-1405 มาใช้ในการออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิก ซึ่งจะใช้ขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 ขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิก



ภาพที่ 3.1 วงจรตัวกรองฮาร์มอนิก

หลักการคำนวณตัวกรองฮาร์มอนิก

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าแรงดันของระบบ ที่จะนำตัวกรองฮาร์มอนิกไปใช้งาน

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่ารีแอกทีฟที่ต้องการใช้ เพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังที่กำหนด

$$Q_{FT} = kVA_{old} - kVA \tag{4.1}$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณจำนวนชุดตัวกรองฮาร์มอนิกที่ต้องการใช้ทั้งนี้การเลือกจำนวนชุดตัวกรองต้องอาศัยข้อมูลประมาณฮาร์มอนิกที่ตรวจวัดได้จริง

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดจุดปรับคลื่น (tuning point: n_h) ของตัวกรองฮาร์มอนิกแต่ละชุด

ขั้นตอนที่ 5 เลือกขนาดของแรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุที่มีแรงดันมูลฐาน 50 Hz

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดกำลังงานรีแอกทีฟพิกัดของตัวเก็ปประจุที่ต้องการใช้

$$Q_c = Q_{Fhi}\left(\frac{V_{cr}}{V_s}\right)^2\left(\frac{n_{hi}^2-1}{n_{hi}^2}\right) \tag{4.2}$$

ขั้นตอนที่ 7 หาค่าตัวเก็บประจุและค่า X_c ที่ความถี่ 50 Hz

$$C = \frac{Q_{chi}\times 1000}{2\pi f V_{cr}^2} \tag{4.3}$$

$$X_c = \frac{V_{cr}^2}{Q_{crhi}\times 1000} \tag{4.4}$$

ขั้นตอนที่ 8 หาค่า L ของตัวรีแอกเตอร์หรือตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเหล็ก

$$L_{hi} = \frac{10^9}{(2\pi fn_{hi})\times c} \tag{4.5}$$

ขั้นตอนที่ 9 กำหนดค่า Q-Factor และหาค่า R

Q-Factor ของตัวกรองฮาร์มอนิกจะเป็นตัวบอกสมรรถนะของตัวกรองในการกรองกระแสฮาร์มอนิกหาก Q-Factor มีค่าสูง จะกรองกระแสฮาร์มอนิกในลำดับที่กำหนดให้กรองได้มาก แต่จะกรองฮาร์มอนิกลำดับที่กำหนดได้น้อย และมีการสูญเสียมาก แต่จะกรองกระแสฮาร์มอนิกในลำดับข้างเคียงได้มากขึ้น และใช้ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบน้อยกว่า โดยปกติ Q-Factor ของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกจะมีค่าประมาณ 40-60 สำหรับค่า R หาได้จาก

$$R = \frac{2\pi fL\times n}{\text{Q-Factor}} \tag{4.6}$$

ขั้นตอนที่ 10 การหาค่าอิมพีแดนซ์ระบบ

หาค่าอิมพีแดนซ์ของระบบโดยจำลองด้วยค่าพารามิเตอร์ R,L,C ทำได้โดยการคำนวณหาอิมพิแดนซ์จากโฮห์ม ดังนี้

$$Z = R+(X_{L-}\ X_C) \tag{4.7}$$

ซึ่งในระบบโหลดเป็น R,L จะได้

$$Z = \frac{V}{I\angle - \cos^{-1}\theta} = R+jX_L \tag{4.8}$$

แทนค่าตัวแปรดังต่อไปนี้

1. ค่าที่ได้จากการวัด
2. ค่าแรงดันที่ได้จากการวัด
3. ค่ากระแสที่ได้จากการวัด

จะได้ค่า R ของระบบ X_L ซึ่ง $X_L = 2\pi fL$ จะได้ค่า L ตามระบบด้วย

3.2.2 คำนวณการออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิกสำหรับโหลดอาคาร 5 ชั้น14 ห้อง 5-1405

ข้อกำหนดในการออกแบบฮาร์มอนิก

1. แรงดันระบบ 416 V
2. กระแสฮาร์มอนิกในแต่ละเฟสที่ได้จากการวัด
3. ค่ากระแสที่ได้จากการวัด ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 3.4 ค่าที่ได้จากการวัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกแสดงเป็น % THDi และ % THDv ของเฟส a , b และc ในอันดับ 1 , 3 , 5 และ 7

Current	เฟส a	%THD	เฟส b	%THD	เฟส c	%THD
I_1	1.9	100%	2	100%	1.3	100%
I_3	1.6	84.90%	1.5	83.10%	1.1	87.80%
I_5	1.1	55.30%	1	56.70%	0.8	64.90%
I_7	0.5	29.30%	0.5	27.70%	0.5	37.10%

4. กำหนดชุดกรองฮาร์มอนิก 3, 5 และ 7 อย่างละ 1ชุด
5. หากำลังรีแอคทีฟรวมเพื่อเพิ่มเพาเวอร์แฟกเตอร์ในแต่ละเฟส

เฟส a

P = 351.3 W

Q = 388.7 VAR

S = 524.0 VA

p.f = 0.680 831208386

จาก

สมการ (4.9) $Q_{old} = P \tan \theta$

$Q_{old} = 351 \tan 47.156° = 378.78$ VAR

$Q = P \tan (\cos^{-1} 0.95) = 351.3 \tan \left(\cos^{-1} 0.95 \right) = 115.467$ VAR

สมการ(4.10) $Q_{FT} = Q_{old} - Q$

$Q_{FT} = 378.78 - 115.46 = 263.313$ VAR

6. จากกระแสฮาร์มอนิกในเฟส *a*

ตาราง 3.5 ค่าที่ได้จากการวัดกระแสฮาร์มอนิก แสดงเป็น % THDi ของเฟส*a*ในอันดับที 1,3,5,7

Current	เฟส a	%THD
I_1	1.9	100%
I_3	1.6	84.90%
I_5	1.1	55.30%
I_7	0.5	29.30%

$Q_3 = 263.313 (84.9\%) = 223.55$ VAR

$Q_5 = 263.313 (55.30\%) = 145.162$ VAR

$Q_7 = 263.313 (29.3\%) = 77.151$ VAR

7. เลือดขนาดตัวเก็บประจุ 450 V หาค่ารีแอคทีฟ

$$Q_3 = (263.313)\left[\frac{450}{416}\right]^2\left(\frac{2.8^2-1}{2.8^2}\right) = 223.55 \text{ VAR}$$

$$Q_5 = (145.612)\left[\frac{450}{416}\right]^2\left(\frac{5^2-1}{5^2}\right) = 163 \text{ VAR}$$

$$Q_7 = (77.151)\left[\frac{450}{416}\right]^2\left(\frac{7^2-1}{7^2}\right) = 88.325 \text{ VAR}$$

8. หาค่าขนาดคาปาซิเตอร์และคาปาซิแตนซ์ , x_C ที่ความถี่ 50 Hz

$$C_3 = \frac{300}{2\pi(50)(450)^2} = 4.72\ \mu\text{F}$$

$$C_5 = \frac{200}{2\pi(50)(450)^2} = 3.14\ \mu\text{F}$$

$$C_7 = \frac{100}{2\pi(50)(450)^2} = 1.57\ \mu\text{F}$$

$$x_{c3} = \frac{1}{2\pi(50)(5\times10^{-6})} = 636.62\ \Omega$$

$$x_{c5} = \frac{1}{2\pi(50)(5\times10^{-6})} = 636.62\ \Omega$$

$$x_{c7} = \frac{1}{2\pi(50)(5\times10^{-6})} = 636.62\ \Omega$$

9.ขนาดอินดักเตอร์ของตัวรีแอคเตอร์

$$x_{L3} = \frac{x_{c3}}{n^2} = \frac{636.62}{2.8^2} = 80.61\ \Omega$$

$$x_{L5} = \frac{x_{c5}}{n^2} = \frac{636.62}{5^2} = 25.28\ \Omega$$

$$x_{L5} = \frac{x_{c7}}{n^2} = \frac{636.62}{7^2} = 12.90\ \Omega$$

$$L_3 = \frac{x_{L3}}{2\pi f} = \frac{80.61}{2\pi(50)} = 256 \text{ mH}$$

$$L_5 = \frac{x_{L5}}{2\pi f} = \frac{25.28}{2\pi(50)} = 81 \text{ mH}$$

$$L_7 = \frac{x_{L7}}{2\pi f} = \frac{12.90}{2\pi(50)} = 41 \text{ mH}$$

10. กำหนดค่า Q-Factor และหาค่า R

$$R_3 = \frac{2\pi(50)(0.225)\times 2.8}{60} = 3.29\ \Omega$$

$$R_5 = \frac{2\pi(50)(0.081)\times 5}{50} = 2.54\ \Omega$$

$$R_7 = \frac{2\pi(50)(0.041)\times 7}{50} = 1.80\ \Omega$$

11. หาค่าอิมพิแดนซ์ระบบของอาคาร 5 ชั้น 5-1405 มหาวิทยาลัยศรีปทุม

p.f = 0.680

แรงดัน = 240 V

กระแส = 1.9 A

จาก $$Z = \frac{V}{I\angle -\cos^{-1}\theta} = R + jX_L$$

$$= \frac{240\angle 0}{1.9\angle -\cos^{-1} 0.680} = 85.895 + j92.616\ \Omega$$

เฟส b

P = 365.9 W

Q = 344.3 VAR

S = 502.4VA

p.f = 0.680

จาก

$$Q_{old} = P \tan \theta$$

$$Q_{old} = 365.9 \tan 47.156° °=394.53 \text{ VAR}$$

$$Q = P \tan (\cos^{-1} 0.95) = 365.9 \tan \left(\cos^{-1} 0.95 \right) = 120.23 \text{ VAR}$$

$$Q_{FT} = Q_{old} - Q$$

$$Q_{FT} = 394.53-120.23=274.3 \text{ VAR}$$

1. กระแสฮาร์มอนิกในเฟส b

ตาราง 3.6 ค่าที่ได้จากการวัดกระแสฮาร์มอนิก แสดงเป็น % THDi ของเฟส b ในอันดับที่ 1,3,5,7

Current	เฟส b	%THD
I_1	2	100%
I_3	1.5	83.10%
I_5	1	56.70%
I_7	0.5	27.70%

$Q_3 = 274.3(84.10\%) = 227.94$ VAR

$Q_5 = 274.3(56.7\%) = 155.53$ VAR

$Q_7 = 274.3(27.7\%) = 79.98$ VAR

2. เลือดขนาดตัวเก็บประจุ 450 V หาค่ารีแอคทีฟ

$$Q_3 = (227.94)\left[\frac{450}{416}\right]^2\left(\frac{2.8^2-1}{2.8^2}\right) = 232.70 \text{ VAR}$$

$$Q_5 = (155.53)\left[\frac{450}{416}\right]^2\left(\frac{5^2-1}{5^2}\right) = 174.71 \text{ VAR}$$

$$Q_7 = (79.98)\left[\frac{450}{416}\right]^2\left(\frac{7^2-1}{7^2}\right) = 97.68 \text{ VAR}$$

3. หาค่าขนาดคาปาซิเตอร์และคาปาซิแตนซ์ , x_C ที่ความถี่ 50 Hz

$$C_3 = \frac{300}{2\pi(50)(450)^2} = 4.72\ \mu\text{F}$$

$$C_5 = \frac{200}{2\pi(50)(450)^2} = 3.14\ \mu\text{F}$$

$$C_7 = \frac{100}{2\pi(50)(450)^2} = 1.57\ \mu\text{F}$$

$$x_{c3} = \frac{1}{2\pi(50)(5\times10^{-6})} = 636.62\ \Omega$$

$$x_{c5} = \frac{1}{2\pi(50)(5\times10^{-6})} = 636.62\ \Omega$$

$$x_{c7} = \frac{1}{2\pi(50)(5\times10^{-6})} = 636.62\ \Omega$$

4. ขนาดอินดักเตอร์ของตัวรีแอคเตอร์

$$x_{L3} = \frac{x_{c3}}{n^2} = \frac{636.62}{2.8^2} = 80.61\ \Omega$$

$$x_{L5} = \frac{x_{c5}}{n^2} = \frac{636.62}{5^2} = 25.28\ \Omega$$

$$x_{L5} = \frac{x_{c7}}{n^2} = \frac{636.62}{7^2} = 12.90\ \Omega$$

$$L_3 = \frac{x_{L3}}{2\pi f} = \frac{80.61}{2\pi(50)} = 256 \text{ mH}$$

$$L_5 = \frac{x_{L5}}{2\pi f} = \frac{25.28}{2\pi(50)} = 81 \text{ mH}$$

$$L_7 = \frac{x_{L7}}{2\pi f} = \frac{12.90}{2\pi(50)} = 41 \text{ mH}$$

5. กำหนดค่า Q-Factor และหาค่า R

$$R_3 = \frac{2\pi(50)(0.225)\times 2.8}{60} = 3.29\ \Omega$$

$$R_5 = \frac{2\pi(50)(0.081)\times 5}{50} = 2.54\ \Omega$$

$$R_7 = \frac{2\pi(50)(0.041)\times 7}{50} = 1.80\ \Omega$$

6. หาค่าอิมพิแดนซ์ระบบของอาคาร 5 ชั้น 5-1405 มหาวิทยาลัยศรีปทุม

p.f = 0.680

แรงดัน = 240 V

กระแส = 2.0 A

จาก $$Z = \frac{V}{I\angle -\cos^{-1}\theta} = R + jX_L$$

$$= \frac{240\angle 0}{2\angle -\cos^{-1} 0.680} = 81.6 + j87.985\ \Omega$$

เฟส c

P = 286.8 W

Q = 347.1 VAR

S = 450.4 VA

p.f = 0.680

จาก

$$Q_{old} = P \tan \theta$$

$$Q_{old} = 286.8 \tan 47.156° = 309.24 \text{ VAR}$$

$$Q = P \tan (\cos^{-1} 0.95) = 286.8 \tan \left(\cos^{-1} 0.95 \right) = 94.27 \text{VAR}$$

$$Q_{FT} = Q_{old} - Q$$

$$Q_{FT} = 309.24 - 115.46 = 214.97 \text{ VAR}$$

1. จากกระแสฮาร์มอนิกในเฟส *c*

ตาราง 3.7 ค่าที่ได้จากการวัดกระแสฮาร์มอนิก แสดงเป็น % THDi ของเฟสc ในอันดับที่ 1,3,5,7

Current	เฟส c	%THD
I_1	1.3	100%
I_3	1.1	87.80%
I_5	0.8	64.90%
I_7	0.5	37.10%

$$Q_3 = 214.97(87.8\%) = 188.74 \text{ VAR}$$
$$Q_5 = 214.97(64.9\%) = 139.52 \text{ VAR}$$
$$Q_7 = 214.97(37.10\%) = 79.754 \text{ VAR}$$

2. เลือดขนาดตัวเก็บประจุ 450 V หาค่ารีแอคทีฟ

$$Q_3=(188.74)\left[\frac{450}{416}\right]^2\left(\frac{2.8^2-1}{2.8^2}\right) \quad =185.53 \text{ VAR}$$

$$Q_5=(139.52)\left[\frac{450}{416}\right]^2\left(\frac{5^2-1}{5^2}\right) \quad = 156.72 \text{ VAR}$$

$$Q_7=(79.754)\left[\frac{450}{416}\right]^2\left(\frac{7^2-1}{7^2}\right) \quad = 91.41 \text{VAR}$$

3. หาค่าขนาดคาปาซิเตอร์และคาปาซิแตนซ์ , x_C ที่ความถี่ 50 Hz

$$C_3=\frac{200}{2\pi(50)(450)^2}=3.14\ \mu\text{F}$$

$$C_3=\frac{200}{2\pi(50)(450)^2}=3.14\ \mu\text{F}$$

$$C_7=\frac{100}{2\pi(50)(450)^2}=1.57\ \mu\text{F}$$

$$x_{c3}=\frac{1}{2\pi(50)(5\times10^{-6})}=636.62\ \Omega$$

$$x_{c5}=\frac{1}{2\pi(50)(5\times10^{-6})}=636.62\ \Omega$$

$$x_{c7}=\frac{1}{2\pi(50)(5\times10^{-6})}=636.62\ \Omega$$

4. ขนาดอินดักเตอร์ของตัวรีแอคเตอร์

$$x_{L3}=\frac{x_{c3}}{n^2}=\frac{636.62}{2.8^2}=80.61\ \Omega$$

$$x_{L5}=\frac{x_{c5}}{n^2}=\frac{636.62}{5^2}=25.28\ \Omega$$

$$x_{L5}=\frac{x_{c7}}{n^2}=\frac{636.62}{7^2}=12.90\ \Omega$$

$$L_3 = \frac{x_{L3}}{2\pi f} = \frac{80.61}{2\pi(50)} = 256 \text{ mH}$$

$$L_5 = \frac{x_{L5}}{2\pi f} = \frac{25.28}{2\pi(50)} = 81 \text{ mH}$$

$$L_7 = \frac{x_{L7}}{2\pi f} = \frac{12.90}{2\pi(50)} = 41 \text{ mH}$$

5. กำหนดค่า Q-Factor และหาค่า R

$$R_3 = \frac{2\pi(50)(0.225)\times 2.8}{60} = 3.29\ \Omega$$

$$R_5 = \frac{2\pi(50)(0.081)\times 5}{50} = 2.54\ \Omega$$

$$R_7 = \frac{2\pi(50)(0.041)\times 7}{50} = 1.80\ \Omega$$

6. หาค่าอิมพิแดนซ์ระบบของอาคาร 5 ชั้น 5-1405 มหาวิทยาลัยศรีปทุม

p.f = 0.680

แรงดัน = 240 V

กระแส = 1.3 A

จาก $$Z = \frac{V}{I\angle -\cos^{-1}\theta} = R+jX_L$$

$$= \frac{240\angle 0}{1.3\angle -\cos^{-1} 0.680} = 125.54+j135.362\ \Omega$$