

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์มอนิกและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลังช่วยให้พลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้าลดลง และยังทำให้อุปกรณ์ขับเคลื่อนต่างๆ มีขนาดลดลง เหมาะสมกับการใช้งาน แต่ปัญหาที่ตามมาสำหรับการใช้ อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น คอนเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือ ตัวขับเคลื่อนต่างๆ จะเกิดการบิดเบี้ยวของกระแสและแรงดัน ความถี่ที่จำแนกจากสัญญาณบิดเบี้ยวนี้ เรียกว่า ความถี่ฮาร์มอนิก ผลกระทบของฮาร์มอนิกมีมากมาย เช่น กำลังไฟฟ้าสูญเสียและความร้อน เป็นต้น การลดหรือขจัดฮาร์มอนิก มีอยู่หลายวิธี เช่น การใช้ตัวกรองแบบพาสซีฟและแบบแอกทีฟ ในโครงการนี้จะขอเน้นตัวกรองแบบแอกทีฟเท่านั้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นของฮาร์มอนิก และแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกในลำดับต่อไป

2.2 นิยามของฮาร์มอนิก

ฮาร์มอนิก คือ องค์ประกอบแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน (fundamental frequency) ซึ่งในระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทยความถี่มูลฐาน คือ 50 Hz. ดังนั้นความถี่ของแรงดันฮาร์มอนิก หรือกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทย คือ 100 Hz. 150 Hz. 200 Hz. หรือ 250 Hz. เป็นต้น

2.3 ประเภทของฮาร์มอนิก

แรงดันฮาร์มอนิกหรือกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ (IEEE std. 519-1992, 1993) ได้ดังต่อไปนี้

Harmonic หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆ ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของความถี่มูลฐาน

Interharmonic หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆ ที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของความถี่มูลฐานมักพบมากในกระแสของเตาหลอมแบบอาร์ค (arc furnace)

Characteristic Harmonic หมายถึง ฮาร์มอนิกที่ถูกสร้างขึ้นโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้า ซึ่งมีลำดับฮาร์มอนิกเป็นไปตามสมการที่ (2.1)

$$n = kp \pm 1 \quad (2.1)$$

โดยที่

n = ลำดับของฮาร์มอนิก

k = จำนวนเต็มที่มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3...

p = จำนวนพัลส์ของเครื่องแปลงผันไฟฟ้า

Noncharacteristic Harmonic หมายถึง ฮาร์มอนิกที่ถูกสร้างขึ้นโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้า เช่นเดียวกันกับกรณี *Characteristic Harmonic* แต่มีลำดับฮาร์มอนิกไม่เป็นไปตามสมการที่ (2.1)

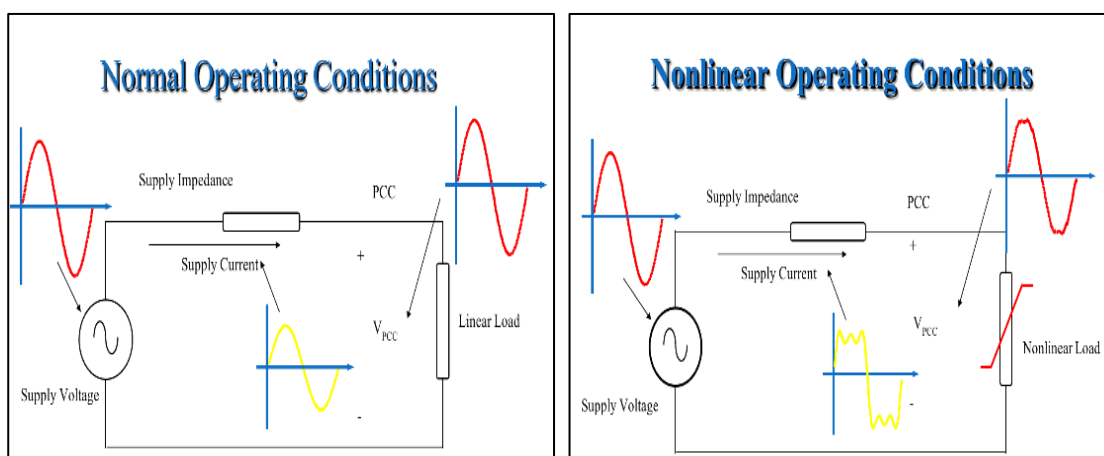
Triplen Harmonic หมายถึง ฮาร์มอนิกที่มีลำดับถูกหารด้วย 3 ลงตัว เช่น ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 6 และ 9 เป็นต้น ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มลำดับศูนย์ (zero sequence) ในกรณีที่เป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ฮาร์มอนิกกลุ่มนี้จะไหลอยู่ในสายนิวทรัล

2.4 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก

ฮาร์มอนิกเกิดจากระบบไฟฟ้ากำลังต่อเข้ากับ โหลดที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear load) ซึ่งโหลดดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ (IEEE std. 519-1992, 1993) ได้ดังนี้

- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ตามบ้านพัก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชนิด แพลส เช่น เครื่อง

- คอมพิวเตอร์ บัลลิสต์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น
- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ วงจรเรียงกระแส ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ที่มีการปรับความเร็ว (adjustable-speed drive)
- อุปกรณ์ที่มีการทำงานประเภทอาร์ค เช่น เต้าหลอมไฟฟ้าแบบอาร์ค เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์ค หรือหลอดปล่อยประจุในก๊าซชนิดต่าง ๆ
- อุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเนื่องจากการอิ่มของแกนเหล็กทางแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้าและเครื่องจักรกลไฟฟ้า เป็นต้น



ก. ลักษณะรูปคลื่นโหลดที่เป็นเชิงเส้น

ข. ลักษณะรูปคลื่นโหลดที่เป็นไม่เชิงเส้น

ภาพที่ 2.1 ลักษณะรูปคลื่นกระแสโหลดเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น

2.5 การประเมินความเสียหายจากผลของฮาร์มอนิก

ฮาร์มอนิกเป็นส่วนประกอบอีกส่วนหนึ่งในการประเมินคุณภาพทางไฟฟ้าการวัดผลของการผิดเพี้ยนหรือผลจากการเกิดผิดปกติของสัญญาณ โดยทั่วไปจะมีการวัดในค่าต่างๆหลายกรณี เช่น Sag, Flicker เป็นต้นในที่นี้จะกล่าวเฉพาะผลของฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าโดยจะมีพารามิเตอร์ในการวัดต่าง ๆ ดังนี้

- **Distortion Factor(DF)**

$$DF = \frac{I_{1,rms}}{I_{rms}}$$

- **Displacement Power Factor** ตัวประกอบกำลังของค่ามูลฐาน(Fundamental)

$$DPF = \cos\phi_1$$

$$pf = DPF \bullet DF$$

- **Total Harmonic Distortion (THD)** ผลรวมของค่าความเพี้ยนของกระแส

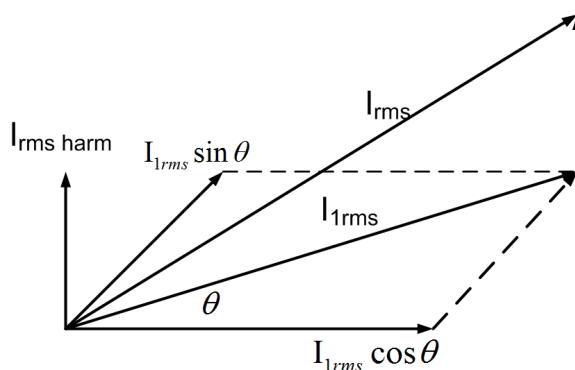
$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n \neq 1}^N I_{n,rms}^2}{I_{1,rms}^2}}$$

จากองค์ประกอบในการที่จะประเมินความเพี้ยนจากผลของฮาร์มอนิกทำให้สามารถศึกษาผลกระทบของฮาร์มอนิกจากการใช้โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นปกติมาตรฐานจะกำหนดค่าผลรวมความเพี้ยนของฮาร์มอนิกเป็นค่า THD หรือเรียกว่า Total Harmonic Distortion มาตรฐานการพิจารณาอัตราความเพี้ยนมีหลายมาตรฐานแต่ที่นิยมจะเป็นมาตรฐาน IEEE519(1992) ดังแสดงในภาพที่ 2.3

$$THD = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_{1,rms}^2}}{I_{1,rms}}$$

- **Crest Factor (CF)**

$$CF = \frac{I_{peak}}{I_{rms}}$$



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของกระแสไฟฟ้าเมื่อมีกระแสฮาร์มอนิกร่วม

Table 1. IEEE 519-1992 Voltage Harmonic Limits

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

Table 2. IEEE 519-1992 Current Harmonic Limits (<69 kV)

I_{gh}/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

ภาพที่ 2.3 ตารางแสดงมาตรฐานระดับ THD ของฮาร์โมนิก ในมาตรฐาน IEEE519(1992)

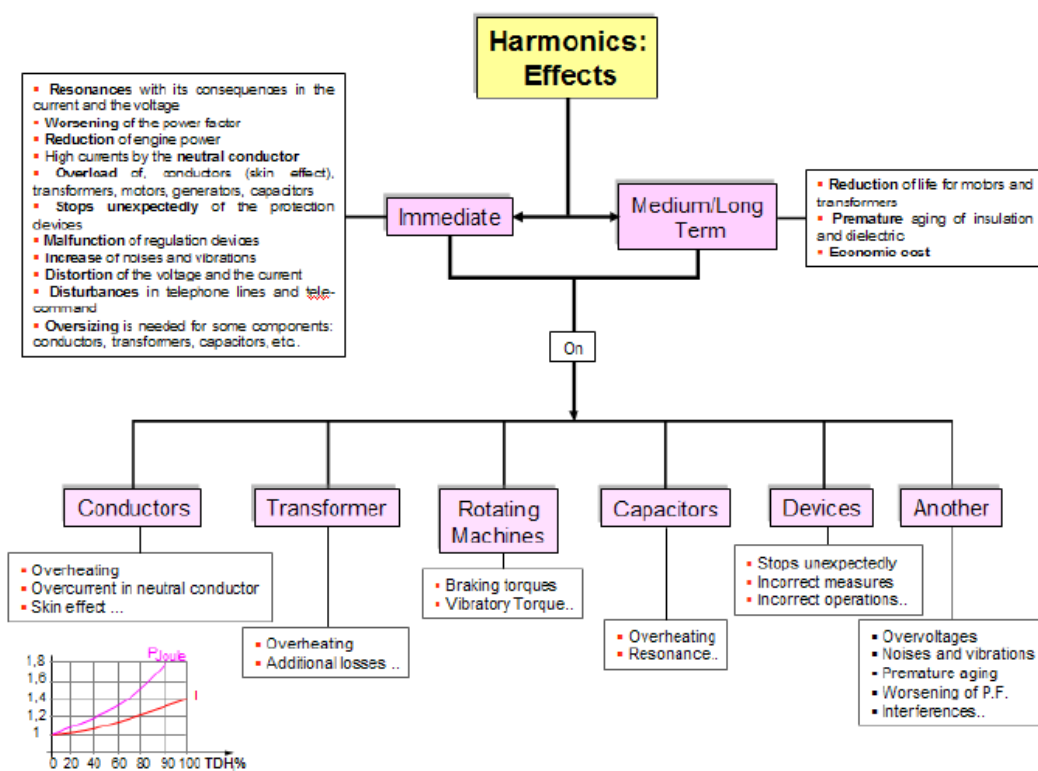
จากมาตรฐาน IEEE519 กำหนดให้ค่า THD ได้กำหนดของระดับไว้ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ในกรณี ที่แรงดันต่ำกว่า 69 kV ส่วนค่ากระแสให้พิจารณาค่ากระแสลัดวงจรและกระแสที่พิกัดมาก ประกอบ

2.6 ผลกระทบของฮาร์โมนิก

การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้นดังที่นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 2.4 จะส่งผล ให้มีฮาร์โมนิกเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งฮาร์โมนิกเหล่านี้ถือว่าเป็น “มลพิษ” ประเภทหนึ่ง ทางไฟฟ้าและก่อให้เกิดผลเสียหลายประการ (IEEE std. 519-1992, 1993) ดังต่อไปนี้

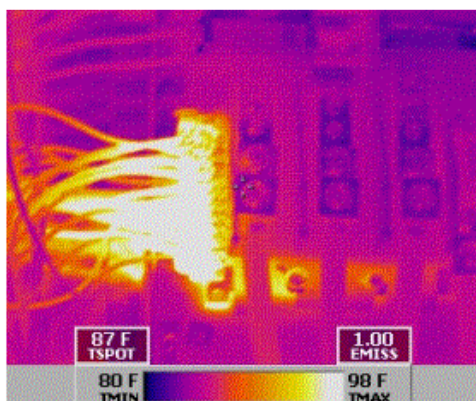
- ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดทั้งนี้ เนื่องจากแรงดันหรือกระแสไฟฟ้ามีลักษณะ รูปสัญญาณผิดเพี้ยนไม่เป็นรูปไซน์
- ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีอายุการใช้งานสั้นลงหรือเกิดการชำรุดเสียหายเนื่องจากมีค่าแรงดัน หรือกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นเนื่องจากฮาร์โมนิก
- ผลของกระแสฮาร์โมนิกที่ไหลอยู่ในสายของระบบจำหน่าย และระบบส่งจ่ายจะทำให้เกิด ค่ากำลังงานสูญเสียในสายเพิ่มมากขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพการส่งจ่ายลดลง
- ผลของกระแสฮาร์โมนิก Triplen ที่จัดอยู่ในกลุ่มลำดับศูนย์ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์โมนิก กลุ่มนี้จะไหลอยู่ในสายนิวทรัล ซึ่งอาจทำให้สายนิวทรัลเกิดเสียหายได้ถ้าไม่มีการออกแบบ รองรับไว้อย่างเหมาะสม

● ผลของกระแสฮาร์โมนิกทำให้กำลังงานสูญเสียสเตรย์ฟลักซ์ (stray flux loss) ของหม้อแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของหม้อแปลงลดลง นอกจากนี้ผลของแรงดันฮาร์โมนิกยังทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียกระแสไหลวน (eddy current loss) และกำลังงานสูญเสียฮิสเทอรีซิส (hysteresis loss) เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของหม้อแปลงลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ อาจจะทำให้เกิดความร้อนในตัวนำของมอเตอร์ และทำให้เกิดการลัดวงจร ดังแสดงในภาพที่ 2.5

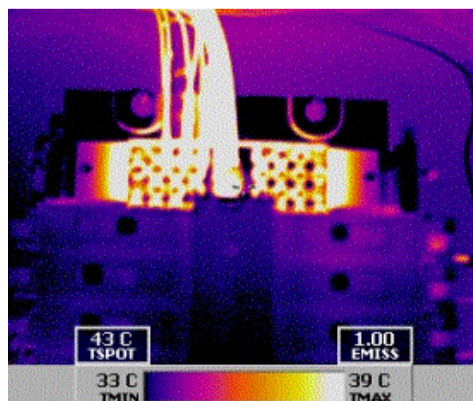


ภาพที่ 2.4 ผลกระทบของกระแสฮาร์โมนิกในระบบจำหน่าย กระทบกับโหลดประเภทต่าง ๆ

จากภาพที่ 2.4 ถึงผลกระทบโดยสรุปของแรงดันหรือกระแสฮาร์โมนิกในระบบจำหน่ายที่กระทบกับโหลดชนิดต่างทั้งในตัวนำไฟฟ้าหม้อแปลงไฟฟ้ามอเตอร์ไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ คาปาซิเตอร์ของระบบซึ่งมักจะเกิดเสียหายจากสภาวะเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นจากการที่ความถี่ฮาร์โมนิกเกิดการเรโซแนนซ์แบบขนานหรือแบบอนุกรมทำให้เกิดแรงดันสูงหรือกระแสสูงตามลำดับจนคาปาซิเตอร์ของระบบเสียหาย

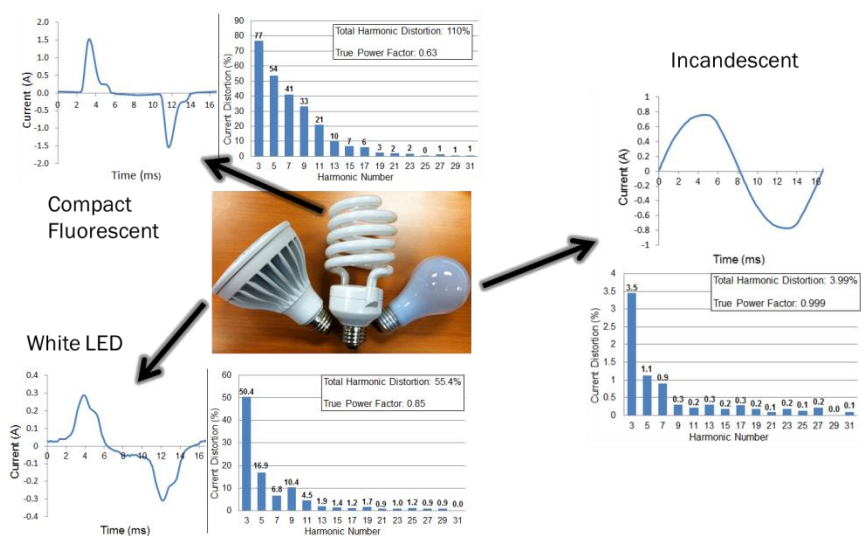


ก. การเกิดความร้อนในสายไฟฟ้า



ข. การเกิดความร้อนในมอเตอร์

ภาพที่ 2.5 ผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิก



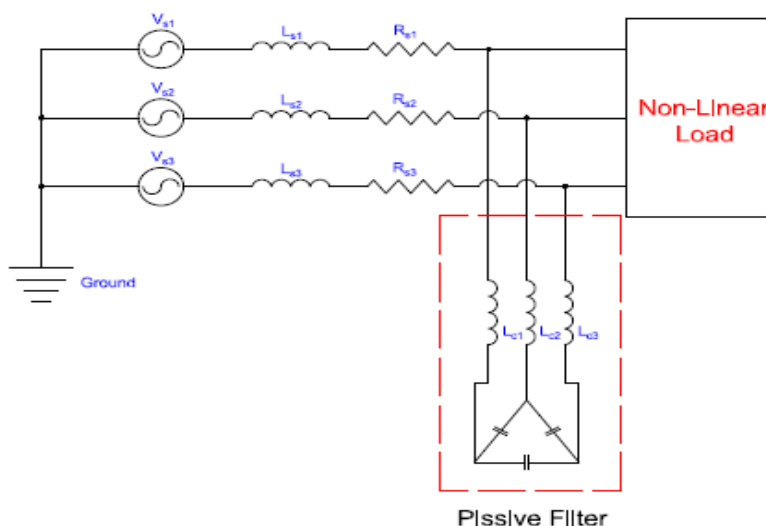
ภาพที่ 2.6 ผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิก

จากภาพที่ 2.6 แสดงถึงตัวอย่างการเกิดฮาร์มอนิกของหลอดไฟฟ้า คอมแพคฟลูออเรสเซนต์ จากผลของบาลาสติเล็กทรอนิกส์ ในรูปแสดงถึงฮาร์มอนิกและสเปคตรัมของกระแสในความถี่ฮาร์มอนิกความถี่ต่าง ๆ จากผลของการเกิดความถี่สูงทำให้เกิดผลกระทบหลายประการ เช่น การเกิดความร้อน ดังที่ได้แสดงในภาพที่ 2.6

2.7 วิธีการกรองฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า

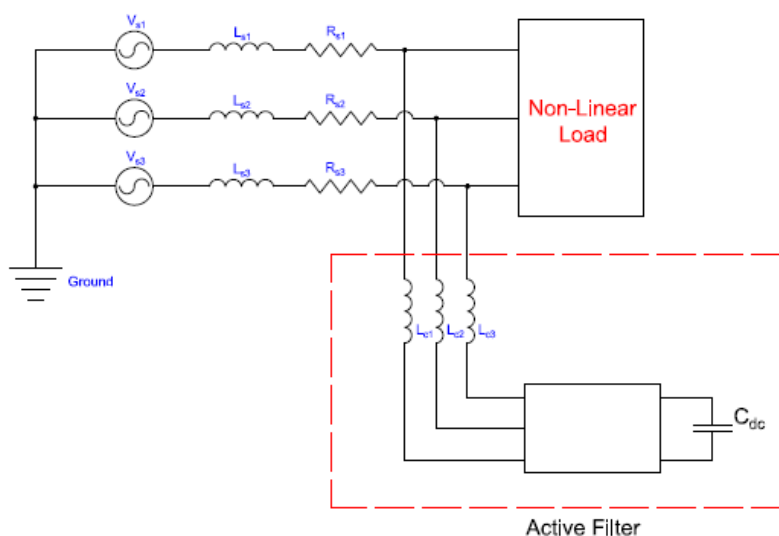
วิธีการกรองฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ที่ได้รับความนิยมอย่างทั่วหลายนั้นจะใช้ตัวกรองความถี่ ตัวกรองความถี่สามารถทำหน้าที่เลือกความถี่ที่ต้องการหรือตัดความถี่ที่ไม่ต้องการออกก็ได้ตัวกรองความถี่ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้ดังนี้

1. **ตัวกรองแบบ Passive** คือ วงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเพื่อให้ทำงาน ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์ประเภท ตัวต้านทาน (R) ตัวเก็บประจุ (C) และ ขดลวดเหนี่ยวนำ (L) ข้อเสียของตัวกรองชนิดนี้ คือไม่สามารถกรองได้หลายๆลำดับความถี่ ถ้าต้องการกรองหลายความถี่จะต้องติดตั้งเป็นจำนวนมากทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ แสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ตัวกรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีฟ

2. **ตัวกรองแบบ Active** คือ วงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่ต้องการไฟฟ้า เพื่อกระตุ้นการทำงานของตัวอุปกรณ์ เป็นตัวกรองที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากสามารถกรองความถี่ได้ทุกลำดับ แสดงในรูปที่ 2.8



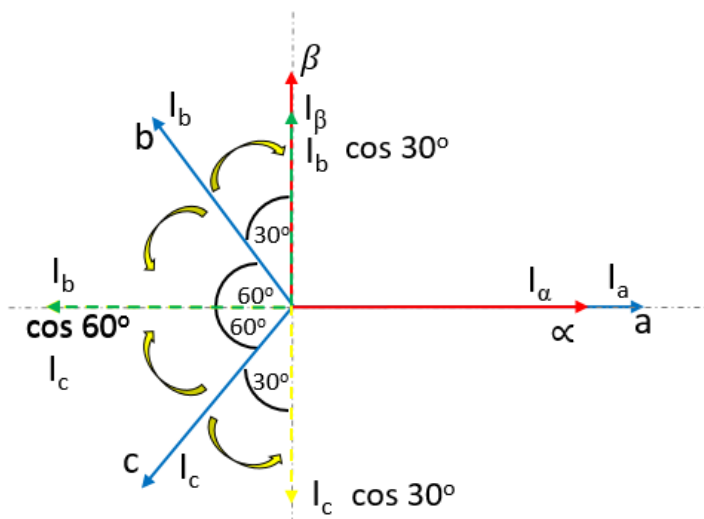
ภาพที่ 2.8 ตัวกรองความถี่แบบแอคทีฟ

โครงงานนี้จะเน้นตัวกรองความถี่แบบ Active.เพียงเท่านั้น เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชิ้นงานจริงได้ต่อไป

2.8 นิยามของทฤษฎี Clark Transformer.

ในการศึกษาและวิเคราะห์ระบบ 3 เฟส พบว่า การที่จะนำปริมาณแรงดันหรือกระแสที่อยู่ในรูป 3 เฟสมาวิเคราะห์จะเกิดความยุ่งยาก จึงจำเป็นต้องแปลงรูป ปริมาณ 3 เฟส ทั้งขนาดและเฟส ในอยู่ในแกนอ้างอิงเดียวกัน ทฤษฎี Clark Transformation.จะเป็นอีกวิธีในการที่จะแปลงพิกัด 3 เฟส ให้เป็น 2 เฟส โดยหลักการอธิบายในรูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมอยู่บนแกน $\alpha\beta$ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้นำเสนอการแปลงปริมาณทางไฟฟ้าจากแกนสามเฟส (abc) เป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่อยู่บนแกน $\alpha\beta$ รวมถึงการอธิบายนิยามของส่วนประกอบต่างๆ ในทฤษฎี Clark Transformer.ที่นำมาใช้ในโครงงาน ดังต่อไปนี้

การแปลงปริมาณแรงดันไฟฟ้า (v_{abc}) และปริมาณกระแสไฟฟ้า (i_{abc}) สามเฟส โดยแสดงให้อยู่ในรูปของเฟสเซอร์ไดอะแกรมให้อยู่บนแกน $\alpha\beta$ แสดงได้ดังภาพที่ 2.9 โดยทั้งสองสมการดังกล่าวข้างต้นมีการปรับคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ $\sqrt{\frac{2}{3}}$ เพื่อให้สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าบนแกน $\alpha\beta$ เทียบเท่ากับการคำนวณกำลังไฟฟ้าสามเฟส ไม่เปลี่ยนจากการรวมทางเวกเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นของผลลัพธ์ $\sqrt{\frac{2}{3}}$ ดังนั้นตัวคูณเพิ่มขึ้น $\sqrt{\frac{2}{3}}$ เพื่อให้ค่าสมดุล



ภาพที่ 2.9 เวกเตอร์การแปลงแกนสามเฟสเป็นแกน $\alpha\beta 0$ กำหนดให้

v_a, v_b, v_c	=	แรงดันเฟสของระบบ 3 เฟส ตามลำดับ
v_α, v_β, v_0	=	แรงดัน 2 เฟสตามพิกัด $\alpha\beta 0$ ของ Clark Transformation ตามลำดับ
i_α, i_β, i_0	=	กระแส 2 เฟสตามพิกัด $\alpha\beta 0$ ของ Clark Transformation ตามลำดับ
$i_{ca}^*, i_{cb}^*, i_{cc}^*$	=	กระแสอ้างอิงสำหรับชดเชยบนแกน 3 เฟส
p	=	กำลังไฟฟ้าจริง
q	=	กำลังไฟฟ้าเสมือน

จากภาพที่ 2.9 แสดงถึงการแปลงเวกเตอร์แรงดันและกระแสไฟฟ้า จากแกนสามเฟสเป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่อยู่บนแกน $\alpha\beta 0$ ดังสมการที่ (2.2),(2.3),(2.4) เป็นพิกัด 3 เฟส ที่แสดงดังภาพที่

$$v_\alpha = v_a \cos 60^\circ - v_b \cos 60^\circ - v_c \cos 60^\circ \quad (2.2)$$

$$v_\beta = v_a \cos 90^\circ + v_b \cos 30^\circ - v_c \cos 30^\circ \quad (2.3)$$

$$v_0 = v_a \cos 60^\circ + v_b \cos 60^\circ + v_c \cos 60^\circ \quad (2.4)$$

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

จากสมการ(2.5)เป็นผลของการคูณจากสมการที่(2.2),(2.3)และ(2.4)แสดงอยู่ในรูปทางเมตริกซ์ได้แสดงสมการที่ (2.5)

ในลักษณะเดียวกันจากภาพที่ 2.9 การแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าสามเฟส เป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าบนแกน $\alpha\beta 0$ โดยใช้การแปลงแกนของคลาร์ก แสดงดังสมการที่ (2.6),(2.7),(2.8)

$$i_\alpha = i_a \cos 60^\circ - i_b \cos 60^\circ - i_c \cos 60^\circ \quad (2.6)$$

$$i_\beta = i_a \cos 90^\circ + i_b \cos 30^\circ - i_c \cos 30^\circ \quad (2.7)$$

$$i_0 = i_a \cos 60^\circ + i_b \cos 60^\circ + i_c \cos 60^\circ \quad (2.8)$$

เช่นเดียวกันจากสมการที่(2.6),(2.7)และ(2.8)สามารถเขียนในรูปทางเมตริกซ์ได้แสดงสมการที่ (2.9)

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

กรณีเมื่อพิจารณาในระบบไฟฟ้าสามเฟสสมดุลจะไม่พิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์จึงไม่ปรากฏค่าแรงดันไฟฟ้าลำดับศูนย์ (v_0) และค่ากระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ (i_0)แสดงดังสมการที่ (2.10),(2.11)

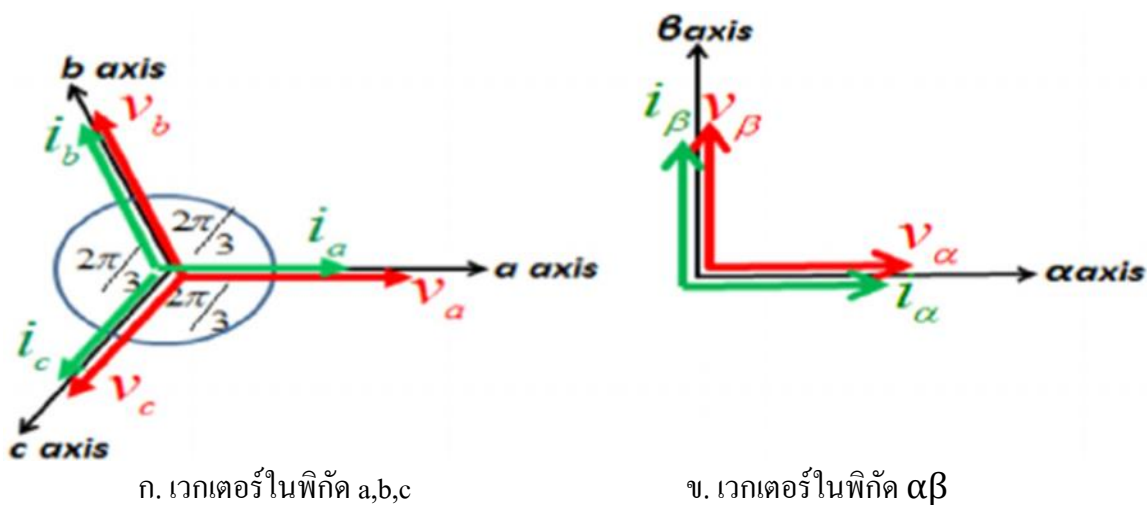
$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

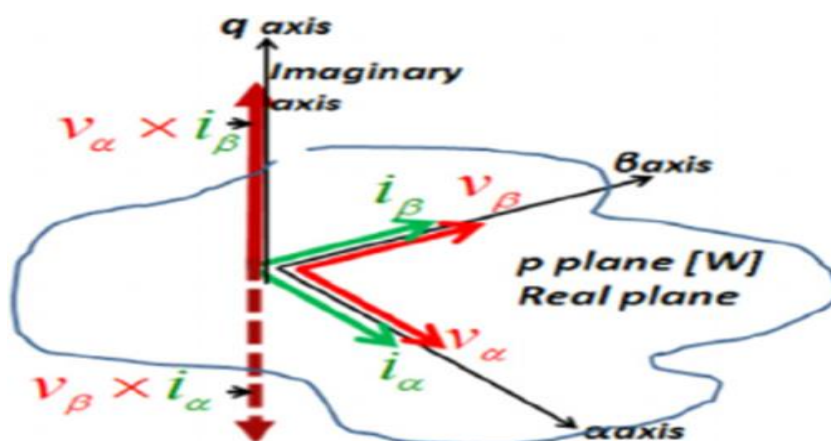
จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดนั้นเป็นทฤษฎีและหลักการของคลาร์กเพื่อแปลงปริมาณของแรงดันและกระแสจากระบบกำลังไฟฟ้าสามเฟสให้อยู่ในแกน $(\alpha\beta 0)$

2.9 การตรวจวัดฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎี P-Q Theory.

การตรวจวัดฮาร์มอนิกสำหรับใช้งานร่วมกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟในปัจจุบันมีหลายวิธีด้วยกัน โดยในบทนี้จะนำเสนอวิธี P-Q Theory. ได้มีผู้พัฒนาหลายงานวิจัย อาทิ เช่น Musa Yusup Lad และ Othman Mohindo ในปี 2011 [2] และต่อมาได้มีผู้นำวิธีทฤษฎีไปใช้และพัฒนากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับฮาร์มอนิก อีกทั้งยังสามารถชดเชยกำลังรีแอกทีฟให้กับระบบ ด้วยวิธีทฤษฎีดังกล่าวสามารถใช้ได้กับระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสทั้งชนิดสมมูลและไม่สมมูล ทั้งลักษณะรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปไซน์และไม่เป็นรูปไซน์ สำหรับเนื้อหาที่นำเสนอในบทนี้ประกอบด้วย นิยาม ขั้นตอนการตรวจวัดฮาร์มอนิกด้วยทฤษฎี จากรูปที่ 2.10 แสดงถึงเวกเตอร์ของแรงดันและกระแสในพิกัด a,b,c และพิกัด $\alpha\beta 0$ ตามลำดับ การหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง(p) เราจะหาได้โดยวิธี Dot Product ระหว่างแรงดัน v และกระแส i ในสมการที่ 2.12 และ 2.13 ส่วนการหาค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน(q) เราจะใช้วิธี Cross Product ดังสมการที่ 2.16 ประกอบกับรูปที่ 2.11 จะทำให้เครื่องหมายเปลี่ยนแปลงไปจากบวกเป็นลบ



ภาพที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแส a,b,c ในระบบไฟฟ้าบนแกน $\alpha\beta$



ภาพที่ 2.11 เวกเตอร์การหาค่า p และ q ในแกน $\alpha\beta$

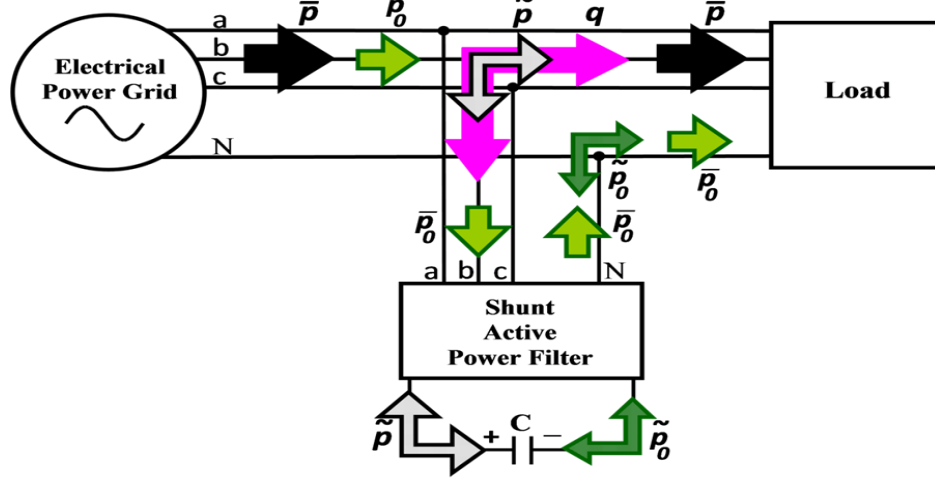
$$p = v \cdot i \quad (2.12)$$

$$q = v \cdot i \quad (2.13)$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$p = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta \quad (2.15)$$

$$q = -v_\beta i_\alpha + v_\alpha i_\beta \quad (2.16)$$



ภาพที่ 2.12 ทิศทางการไหลของ \bar{p}, \tilde{p}

โดยที่ \tilde{p} คือ ปริมาณฮาร์มอนิกของกำลังแอกทีฟที่ได้จากการแยกออกจากกำลังแอกทีฟมูลฐาน \bar{p} ซึ่งการแยกปริมาณดังกล่าวจะใช้วงจรกรอง (Filter) โดยในโครงงานนี้จะทดสอบใช้วงจรกรองผ่านสูง

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha}^* \\ i_{c\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ q \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$i_{c\alpha}^* = \frac{v_\alpha \tilde{p} - v_\beta q}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \quad (2.18)$$

$$i_{c\beta}^* = \frac{v_\beta \tilde{p} + v_\alpha q}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \quad (2.19)$$

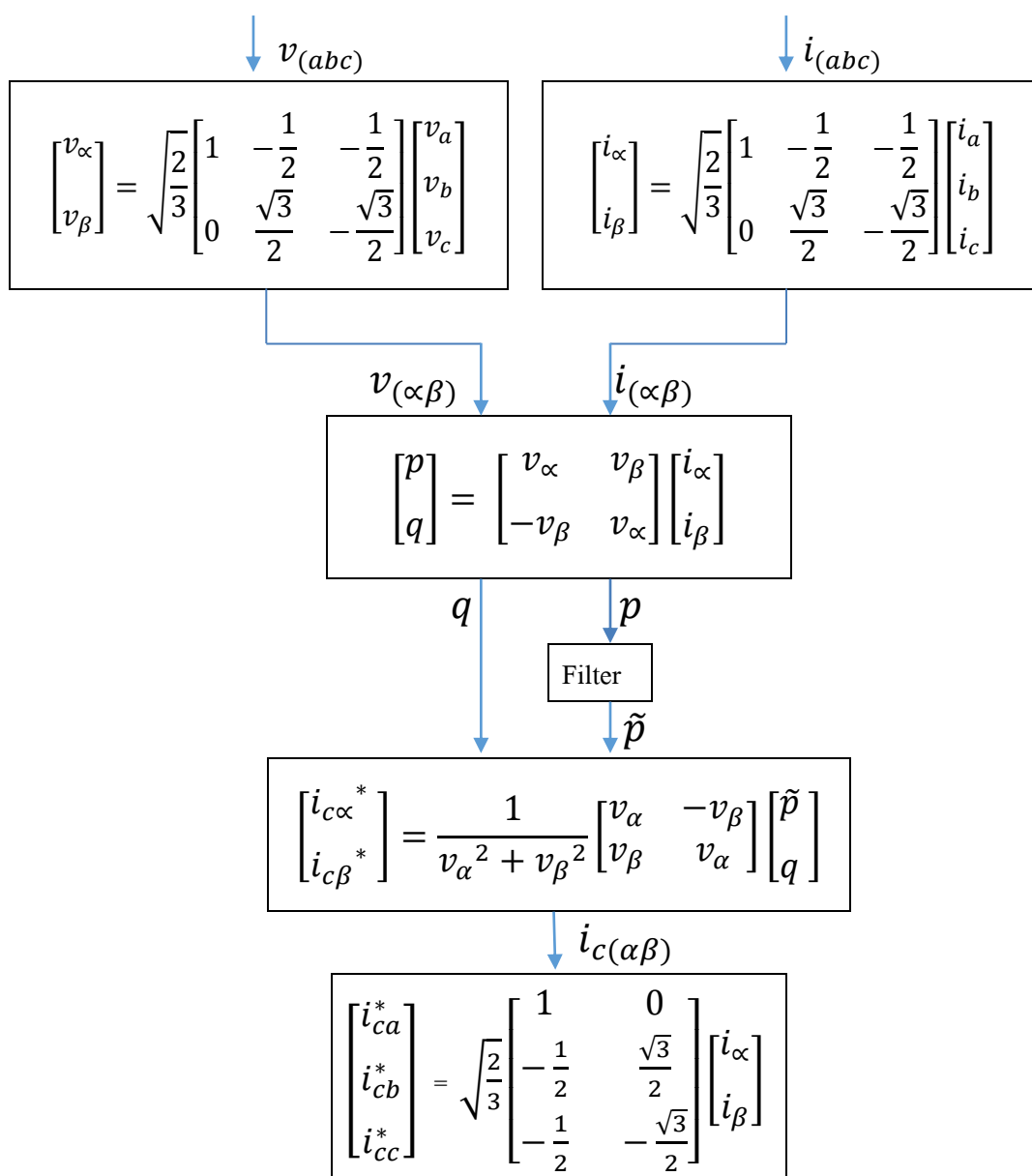
$$c = v_\alpha^2 + v_\beta^2 \quad (2.20)$$

คำนวณหาค่ากระแสอ้างอิงสำหรับการชดเชยบนแกนสามเฟส

$$(i_{ca}^*, i_{cb}^*, i_{cc}^*) \text{ โดยใช้สมการที่} \quad (2.21)$$

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \\ i_{cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

จากสมการทั้งหมดดังที่กล่าวข้างต้นสามารถเขียนเป็นแผนภาพการคำนวณการตรวจวัดฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎี P-Q สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสสมดุลได้ดังรูปที่ 2.10



ภาพที่ 2.13 ลำดับขั้นตอนการคำนวณการตรวจวัดฮาร์มอนิก

2.10 สรุปเนื้อหาในบท

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการทั่วไปของการเกิดฮาร์มอนิกผลกระทบต่างๆของฮาร์มอนิกในระบบจำหน่าย และสมรรถนะความถี่ต่างๆตามมาตรฐาน IEEE519 และได้นำเสนอการหลักการของสมการของตัวกรองแบบ P-Q โดยมีขั้นตอนการแปลงพิกัดด้วยวิธี Clark Transformation การหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง(p) และกำลังไฟฟ้าเสมือน(q) ตามลำดับจากสมการต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วจะนำไปสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Simulink ในบทต่อไป.