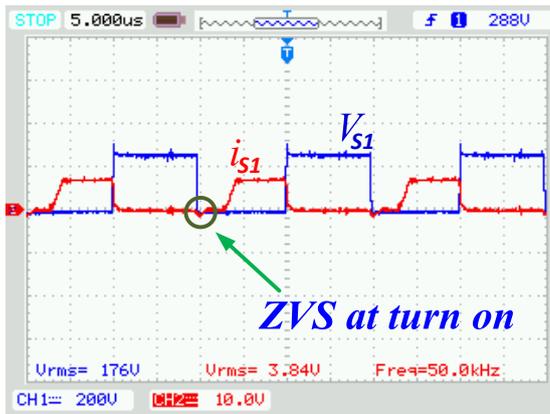
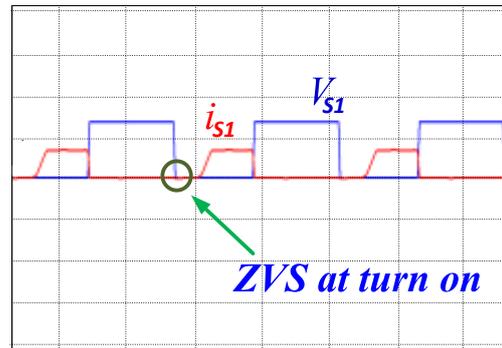


4.2.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองจริงและผลการจำลอง

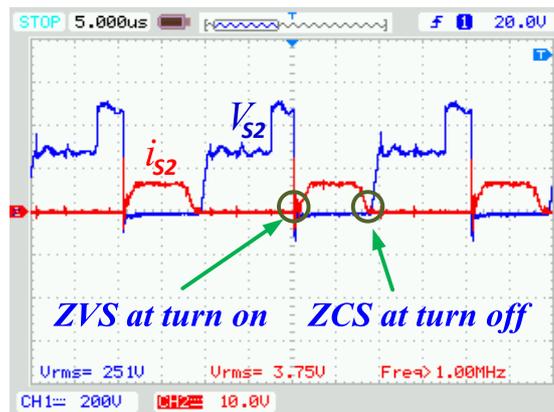


(ก)

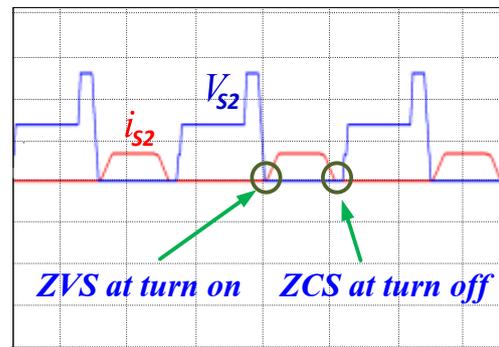


(ข)

รูปที่ 4.1 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S1 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

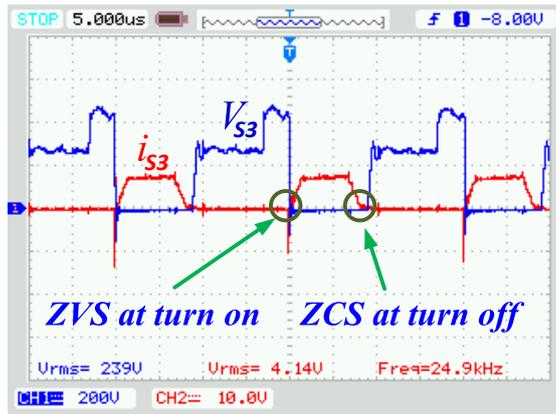


(ก)

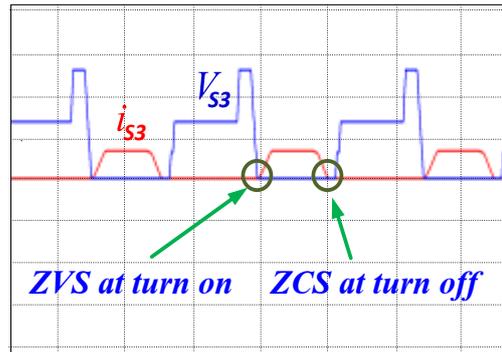


(ข)

รูปที่ 4.2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S2 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

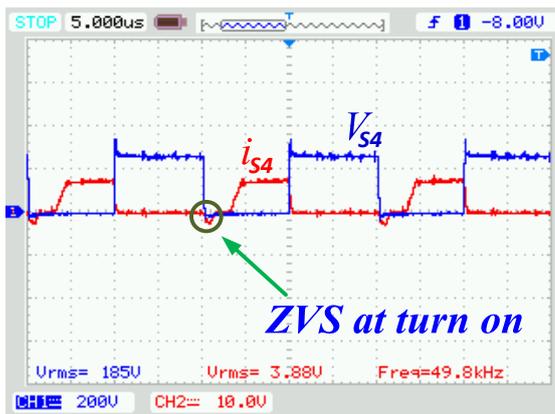


(ก)

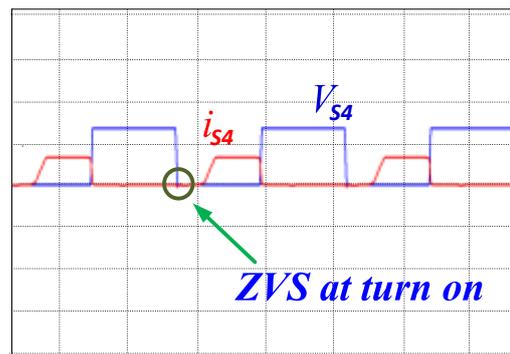


(ข)

รูปที่ 4.3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S3 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

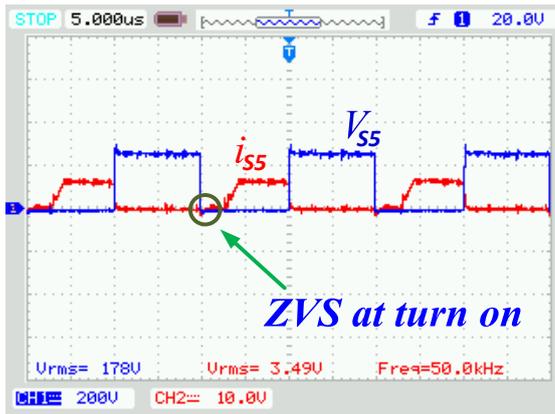


(ก)

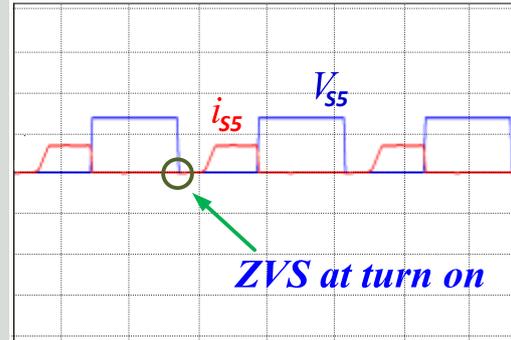


(ข)

รูปที่ 4.4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S4 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

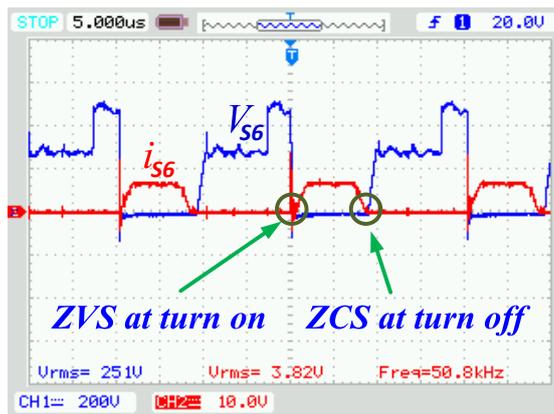


(ก)

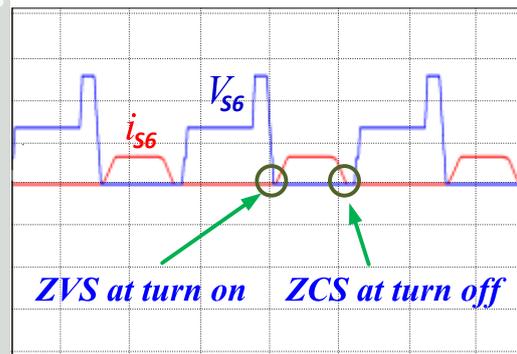


(ข)

รูปที่ 4.5 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S5 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

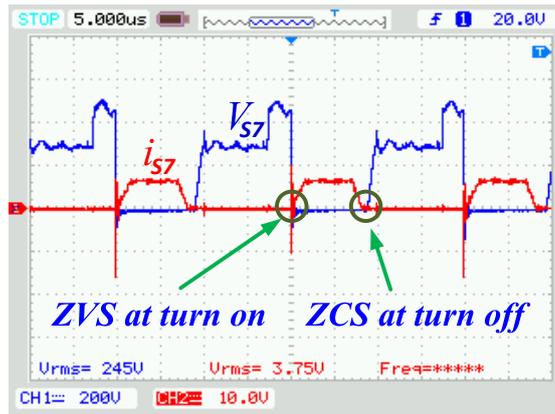


(ก)

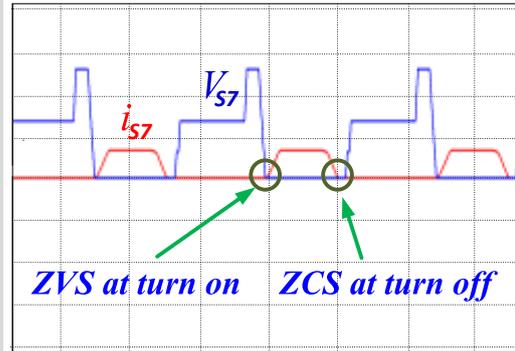


(ข)

รูปที่ 4.6 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S6 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

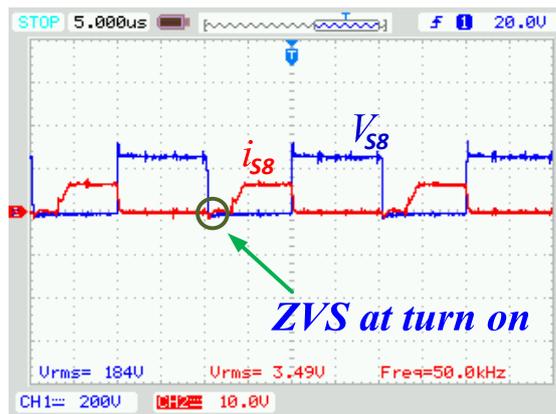


(ก)

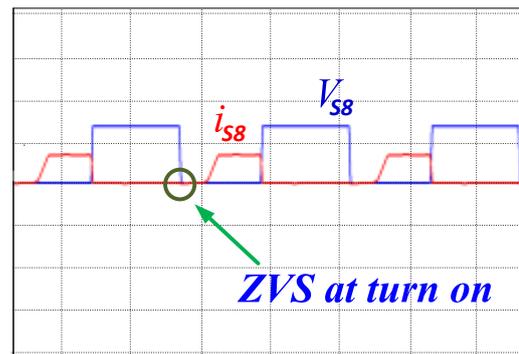


(ข)

รูปที่ 4.7 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S7 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

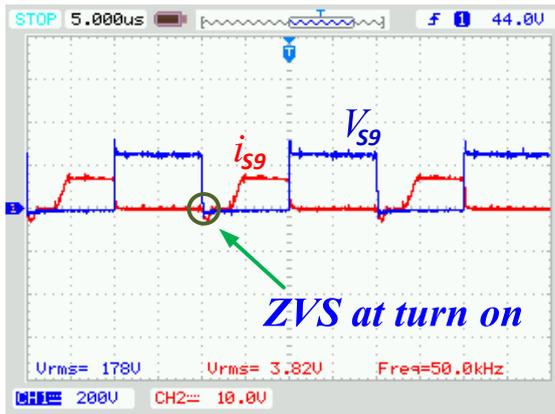


(ก)

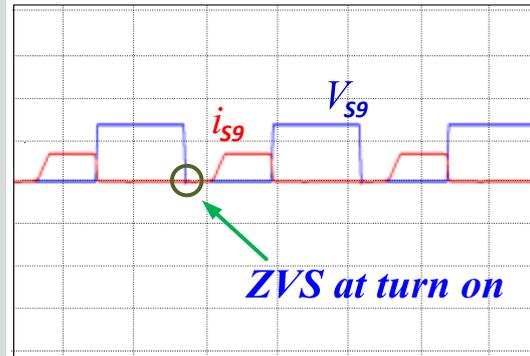


(ข)

รูปที่ 4.8 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S8 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

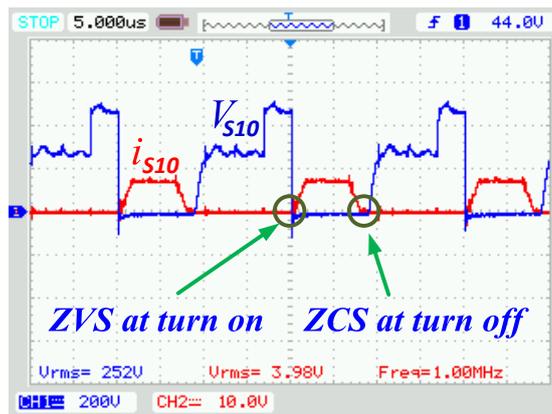


(ก)

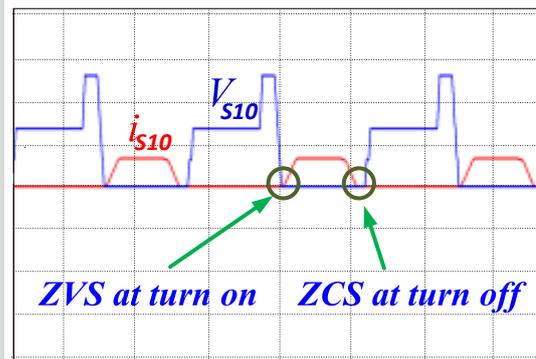


(ข)

รูปที่ 4.9 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S9 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

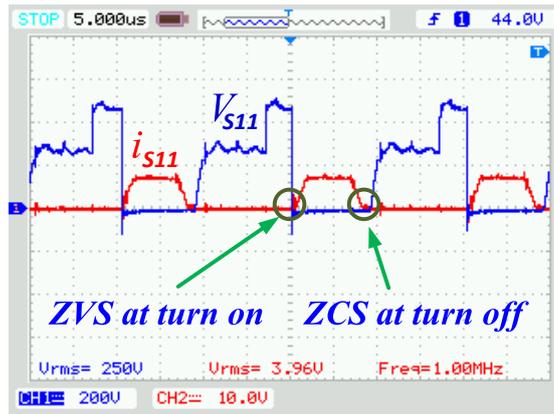


(ก)

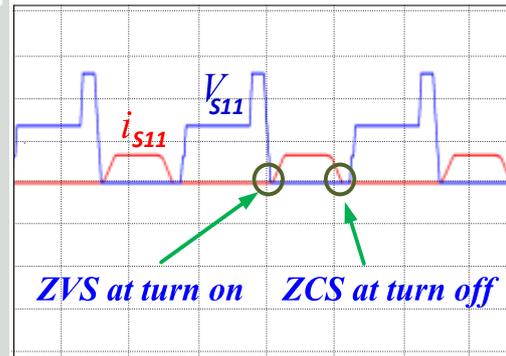


(ข)

รูปที่ 4.10 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S10 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

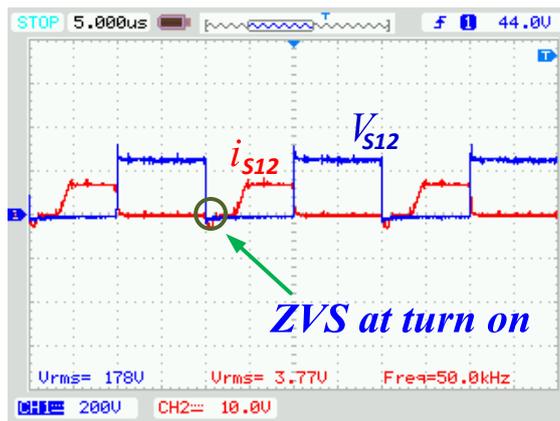


(ก)

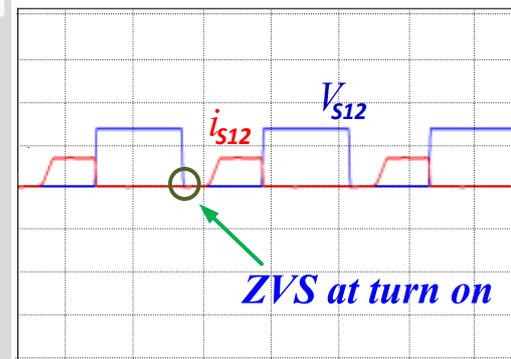


(ข)

รูปที่ 4.11 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S11 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง
(ข) จากการจำลอง



(ข)



(ก)

รูปที่ 4.12 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ S12 (200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง
(ข) จากการจำลอง

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ถึง 4.12 เป็นการตรวจสอบการเกิดลักษณะการทำงานแบบชอฟต์สวิตช์ของสวิตช์แต่ละตัวในวงจร ซึ่งพบว่าสวิตช์ทุกตัวในวงจร (S1 – S12) เกิดการทำงานแบบชอฟต์สวิตช์ทุกตัว โดยสวิตช์วงในอันได้แก่ (S1, S4, S5, S8, S9, S12) เกิดการทำงานแบบสวิตช์ด้วยแรงดันเป็นศูนย์ (Zero – voltage switching : ZVS) โดยจากรูปผลการทดลองและผลการจำลองจะพบว่าแรงดันตกคร่อมสวิตช์ตกลงเป็นศูนย์ก่อนที่จะมีกระแสไหลผ่านสวิตช์ทำให้ไม่เกิดความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในช่วงของการเริ่มนำกระแส แต่ในช่วงของการหยุดนำกระแสจะพบว่าจะยังเกิดการซ้อนทับกันของรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ ทำให้เกิดความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในช่วงของการหยุดนำกระแสดังที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1, 4.4, 4.5, 4.8, 4.9 และ 4.12 ตามลำดับ ส่วนสวิตช์วงในอันได้แก่ (S2, S3, S6, S7, S10, S11) จะเกิดการทำงานแบบสวิตช์ด้วยแรงดันเป็นศูนย์และกระแสเป็นศูนย์ (Zero – voltage zero – current switching : ZVZCS) โดยจากรูปผลการทดลองและผลการจำลองจะพบว่าในช่วงของการเริ่มนำกระแสจะเกิดลักษณะการทำงานแบบสวิตช์ด้วยแรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) โดยแรงดันตกคร่อมสวิตช์ตกลงเป็นศูนย์ก่อนที่จะมีกระแสไหลผ่านสวิตช์ และในช่วงของการหยุดนำกระแสจะพบการเกิดการทำงานแบบสวิตช์ด้วยกระแสเป็นศูนย์ (ZCS) โดยจะพบว่ากระแสที่ไหลผ่านสวิตช์นั้นลดลงจนเป็นศูนย์ก่อนที่จะมีแรงดันตกคร่อมสวิตช์เกิดขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสวิตช์วงในอันไม่เกิดความสูญเสียกำลังไฟฟ้าอันเนื่องมาจากการสวิตช์ทั้งในช่วงของการเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส ตามที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแรงดันตกคร่อมสวิตช์แต่ละตัวนั้นมีค่าเพียงครั้งเดียวจากแรงดันขาเข้าเท่านั้นอันเนื่องมาจากการใช้คอนเวอร์เตอร์แบบสามระดับ

4.3 การวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกส์ของรูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจร ดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบสามเฟสสามระดับ

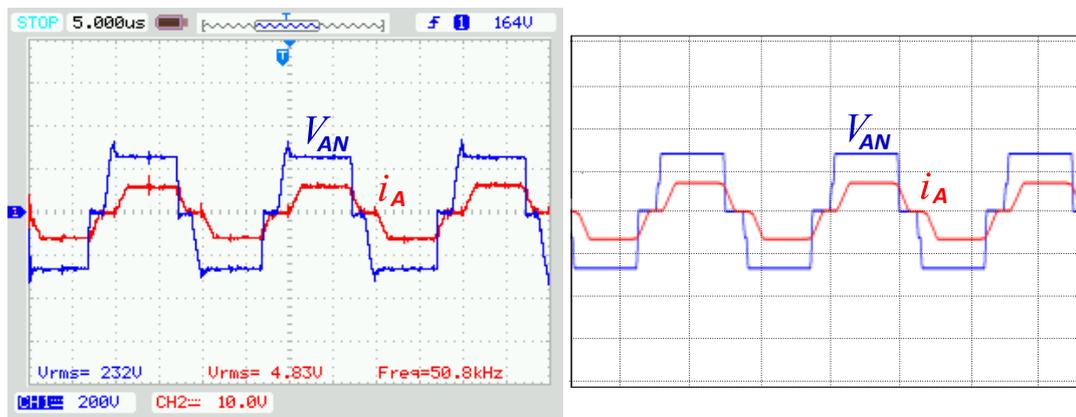
เพื่อศึกษาความผิดเพี้ยนรวมทางฮาร์มอนิกส์ของรูปคลื่นแรงดันและกระแส (THD_V และ THD_I) ของวงจรที่ได้ทำการสร้างขึ้น เนื่องจากเป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสามระดับดังนั้นรูปคลื่นแรงดันจะมีความเป็นขั้นบันไดมากกว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองระดับ จึงจะได้ทำการวัดรูปคลื่นแรงดันและกระแส จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าความผิดเพี้ยนรวมทางฮาร์มอนิกส์ (Total Harmonics Distortion) และเนื่องจากวงจรอินเวอร์เตอร์ภายในคอนเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟส จึงจะทำการวิเคราะห์ทั้งในส่วนองแรงดันเฟส (V_{AN}, V_{BN}, V_{CN}) และแรงดันไลน์ (V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์โดยใช้สมการ (4.1)และ(4.2)

$$THD_V (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_{h,rms}^2}}{V_{1,rms}} \times 100 \quad (4.1)$$

$$THD_i (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} i_{h,rms}^2}}{i_{1,rms}} \times 100 \quad (4.2)$$

- โดยที่ค่า
- THD_v คือ ค่าความผิดเพี้ยนรวมทางฮาร์โมนิกส์ของแรงดัน
 - THD_i คือ ค่าความผิดเพี้ยนรวมทางฮาร์โมนิกส์ของกระแส
 - h คือ อันดับของฮาร์โมนิกส์
 - V_1 คือ องค์กรประกอบหลักมูลของแรงดัน
 - i_1 คือ องค์กรประกอบหลักมูลของกระแส

4.3.1 การวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันเฟส (V_{AN}) และกระแสเฟส (i_A)

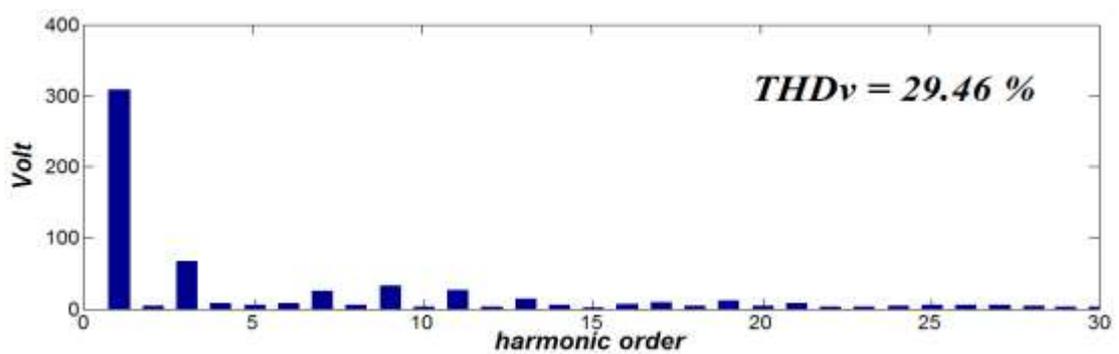


(ก)

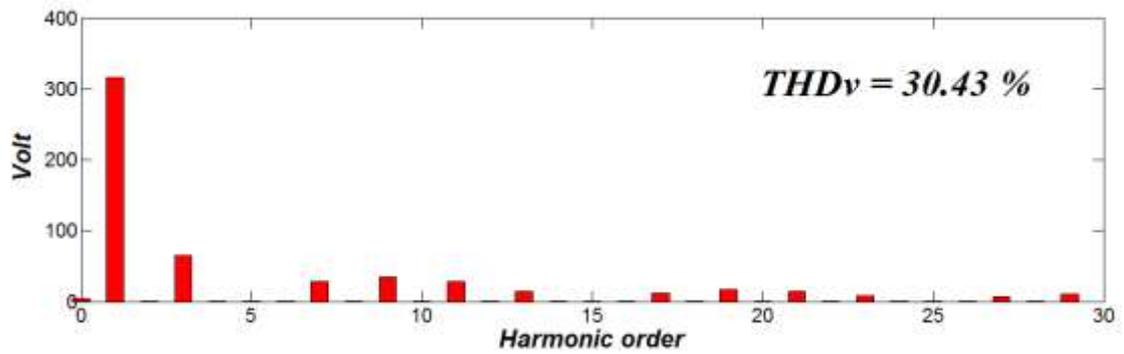
(ข)

รูปที่ 4.13 รูปคลื่นแรงดันเฟส (V_{AN}) และกระแสเฟส (i_A) , (200V/div , 10A/div)

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

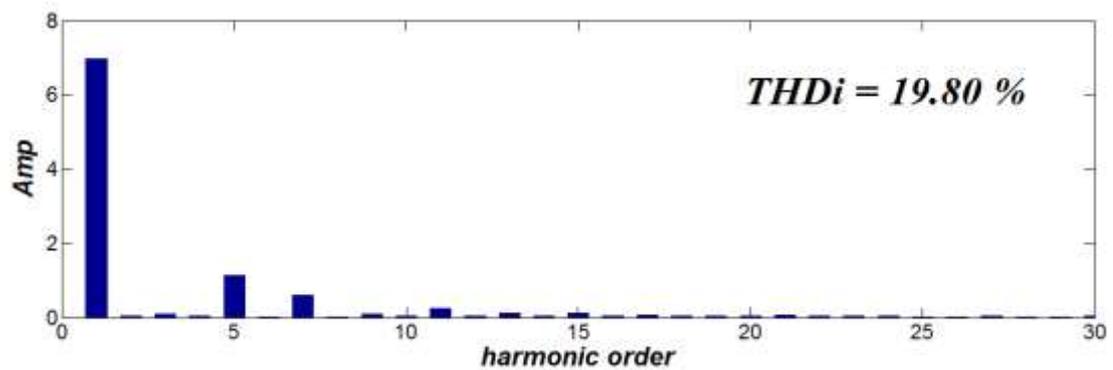


(ก)

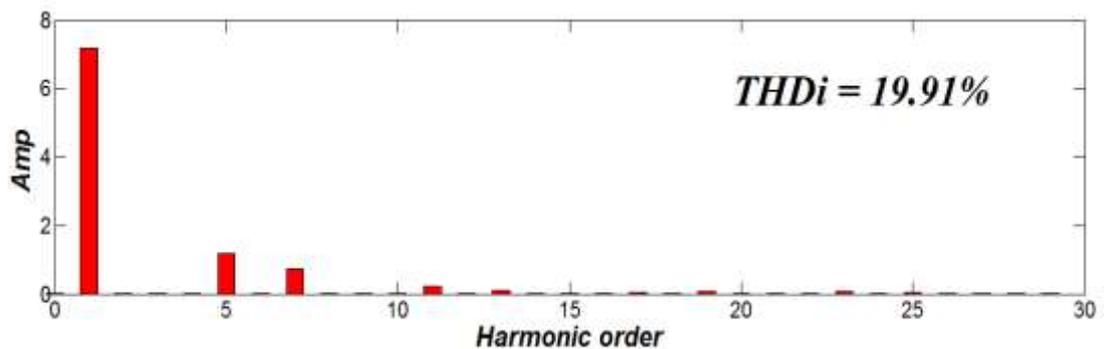


(ข)

รูปที่ 4.14 ฮามอนิกส์สเปกตรัมของแรงดันเฟส (V_{AN}) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลต์
(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



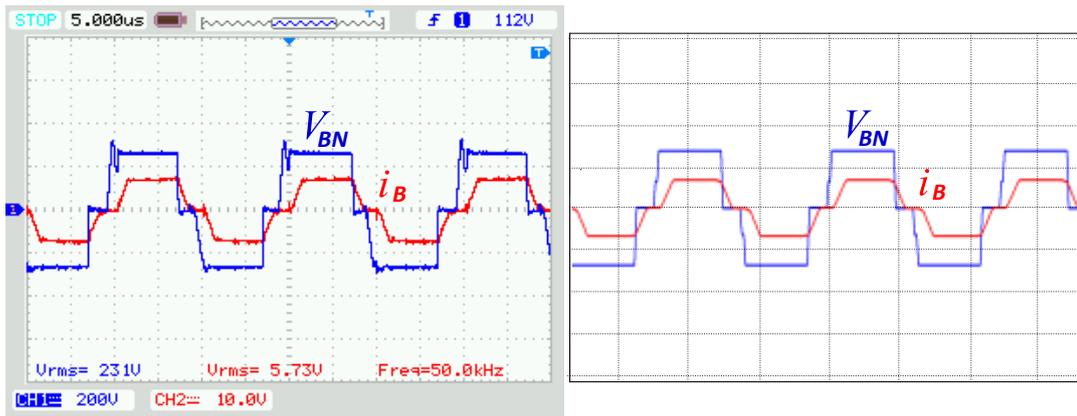
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 ฮามอนิกส์สเปกตรัมของกระแสเฟส (i_A) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลต์
(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

4.3.2 การวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันเฟส (V_{BN}) และกระแสเฟส (i_B)

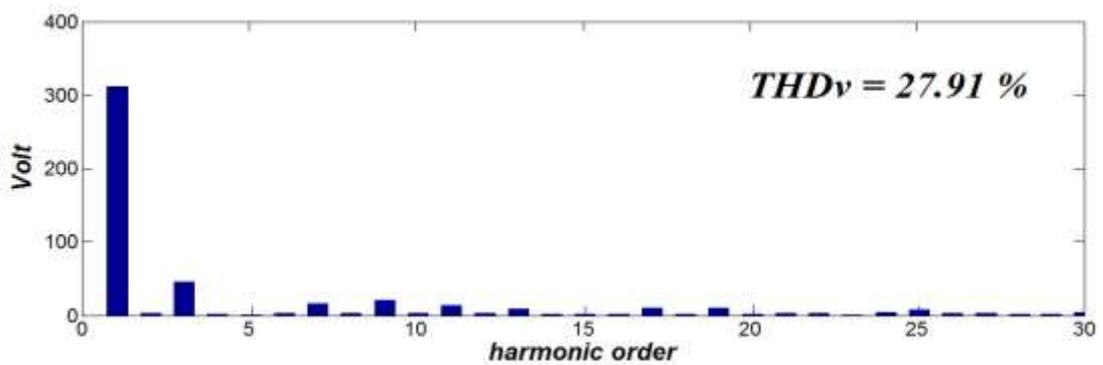


(ก)

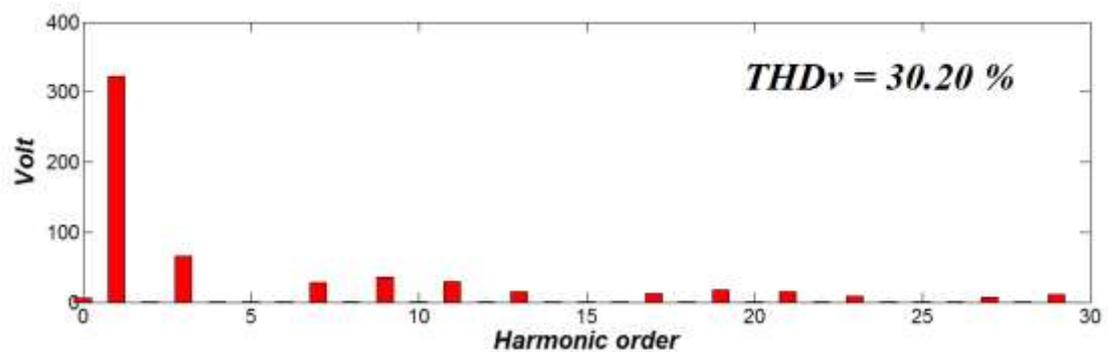
(ข)

รูปที่ 4.16 รูปคลื่นแรงดันเฟส (V_{BN}) และกระแสเฟส (i_B) , (200V/div , 10A/div)

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



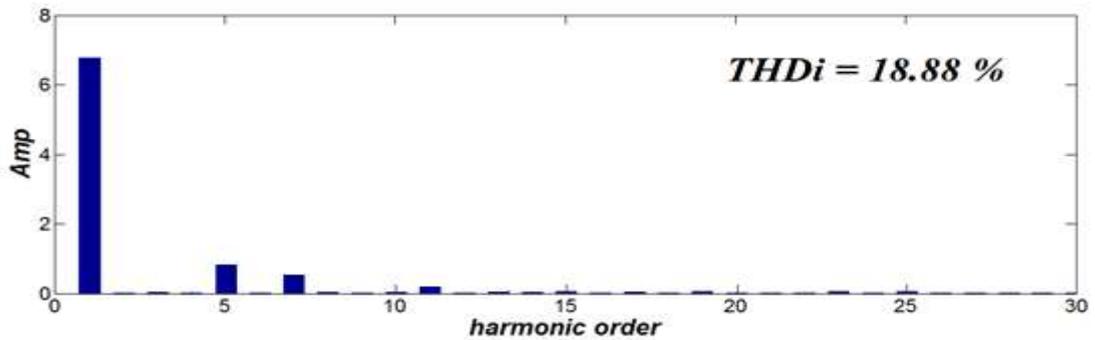
(ก)



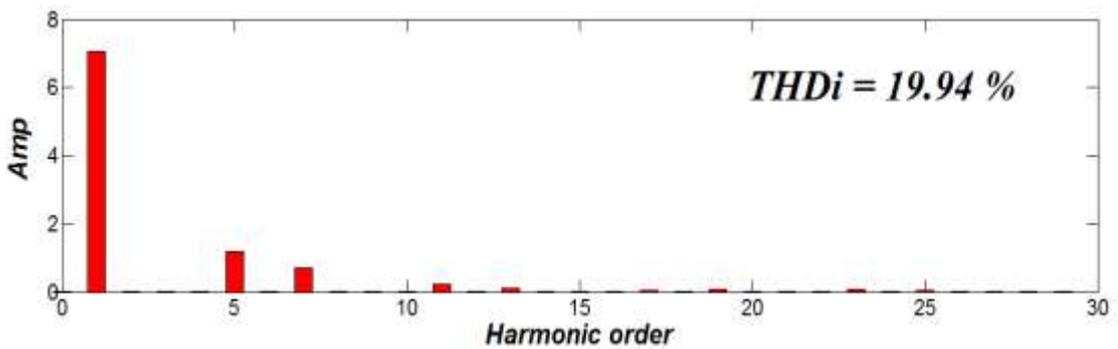
(ข)

รูปที่ 4.17 ฮามอนิกส์เปอร์เซ็นต์ของแรงดันเฟส (V_{BN}) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลท์

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



(ก)

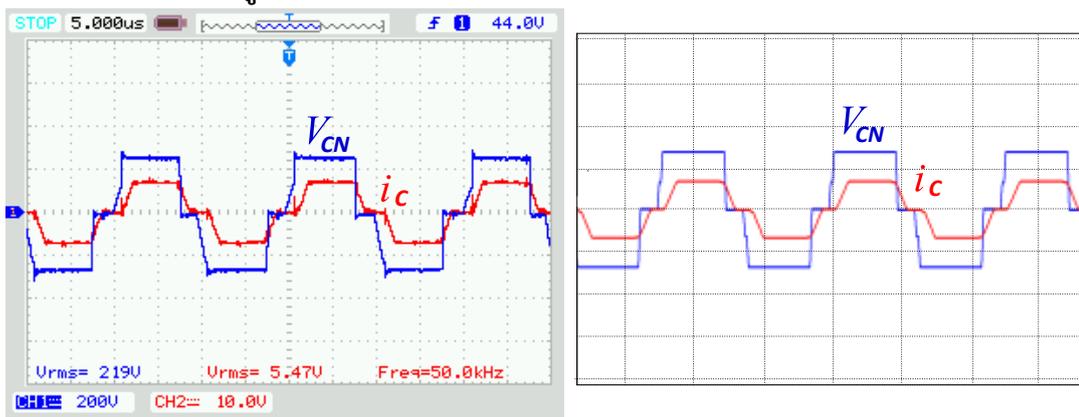


(ข)

รูปที่ 4.18 ฮาโมนิกส์สเปกตรัมของกระแสเฟส (i_B) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลท์

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

4.3.3 การวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันเฟส (V_{CN}) และกระแสเฟส (i_C)

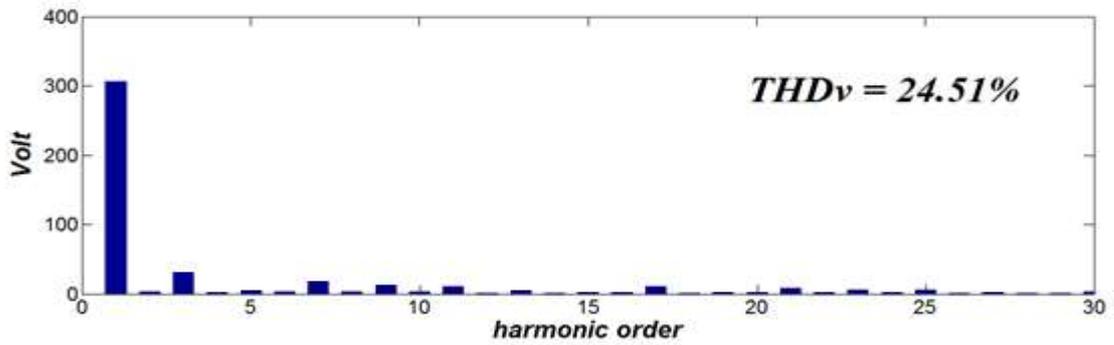


(ก)

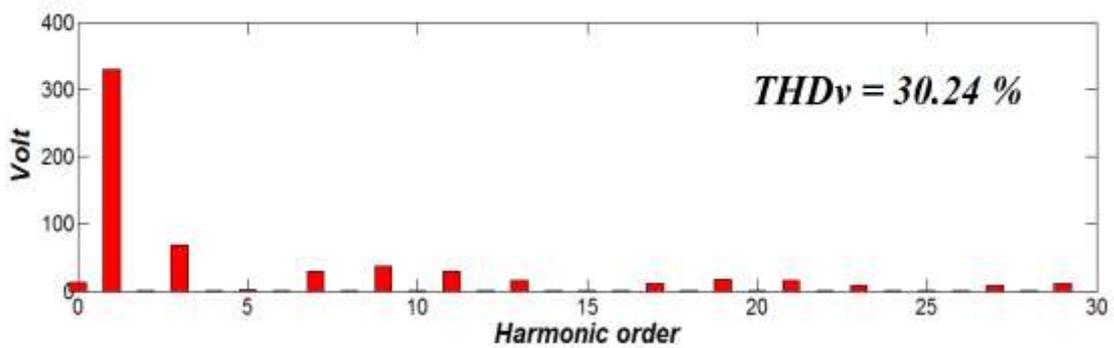
(ข)

รูปที่ 4.19 รูปคลื่นแรงดันเฟส (V_{CN}) และกระแสเฟส (i_C) , (200V/div , 10A/div)

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



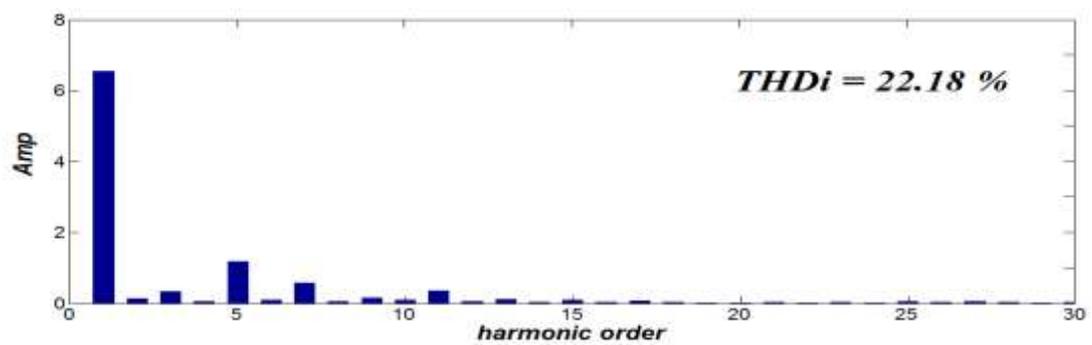
(ก)



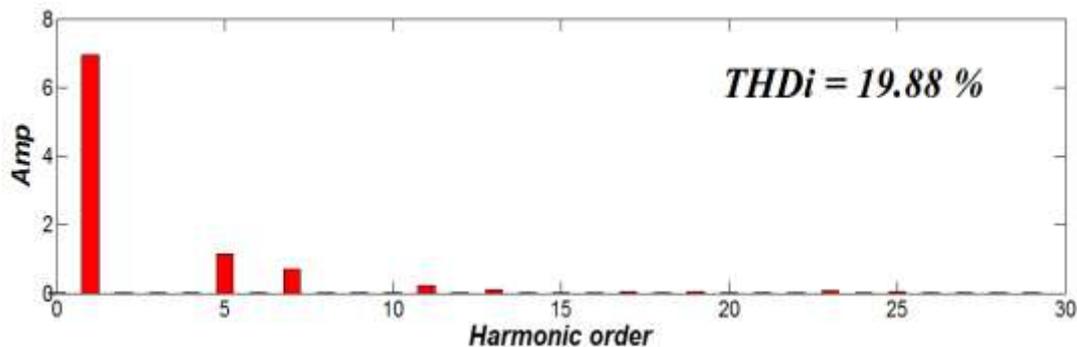
(ข)

รูปที่ 4.20 ฮามอนิกส์สเปกตรัมของแรงดันเฟส (V_{CN}) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลท์

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.21 ฮามอนิกส์สเปกตรัมของกระแสเฟส (i_C) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลท์

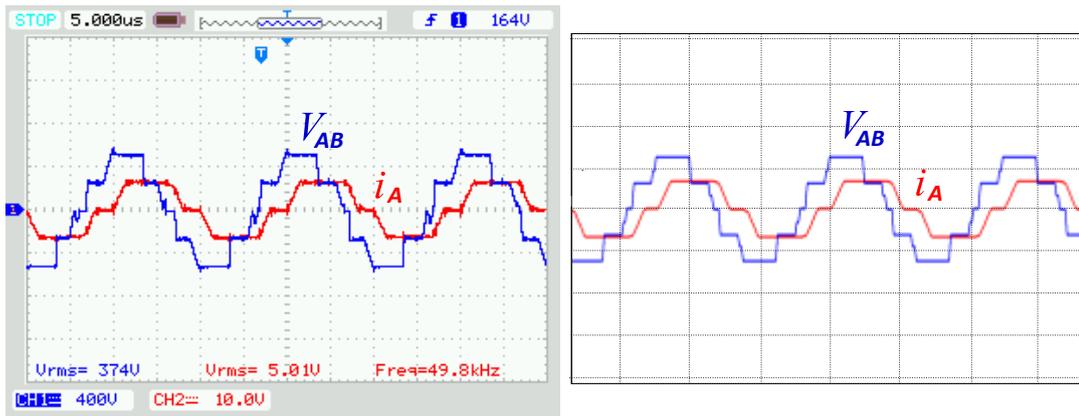
(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

ตารางที่ 4.2 ค่าความผิดเพี้ยนรวมทางฮามอนิกส์ของแรงดันเฟสและกระแสเฟส

	Total Harmonics Distortion	ผลการทดลองจริง	ผลการจำลอง
แรงดันเฟส V_{AN}	THD_v	29.46 %	30.43 %
กระแสเฟส i_A	THD_i	19.80 %	19.91 %
แรงดันเฟส V_{BN}	THD_v	27.91 %	30.20 %
กระแสเฟส i_B	THD_i	18.88 %	19.94 %
แรงดันเฟส V_{CN}	THD_v	24.51 %	30.24 %
กระแสเฟส i_C	THD_i	22.18 %	19.88 %

จากผลการวิเคราะห์ฮามอนิกส์ของรูปคลื่นแรงดันเฟส และกระแสเฟส ที่ระดับแรงดันอินพุตเท่ากับ 530 โวลท์ พบว่าความผิดเพี้ยนรวมทางฮามอนิกส์ของแรงดันเฟสในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสามระดับ มีค่าดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าค่าความผิดเพี้ยนรวมฮามอนิกส์ของแรงดันเฟสของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองระดับโดยทั่วไป เนื่องจากรูปคลื่นแรงดันมีลักษณะความเป็นขั้นบันไดมากกว่า ทำให้ค่าความผิดเพี้ยนรวมทางฮามอนิกส์มีค่าน้อยกว่า ดังนั้นการเลือกใช้งานคอนเวอร์เตอร์แบบสามระดับจึงสามารถช่วยลดความสูญเสียกำลังไฟฟ้าได้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองระดับ

4.3.4 การวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันไลน์ (V_{AB}) และกระแสไลน์ (i_A)

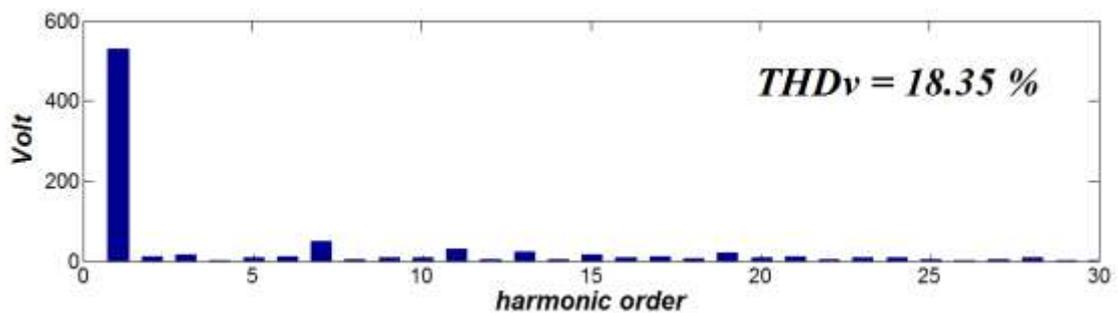


(ก)

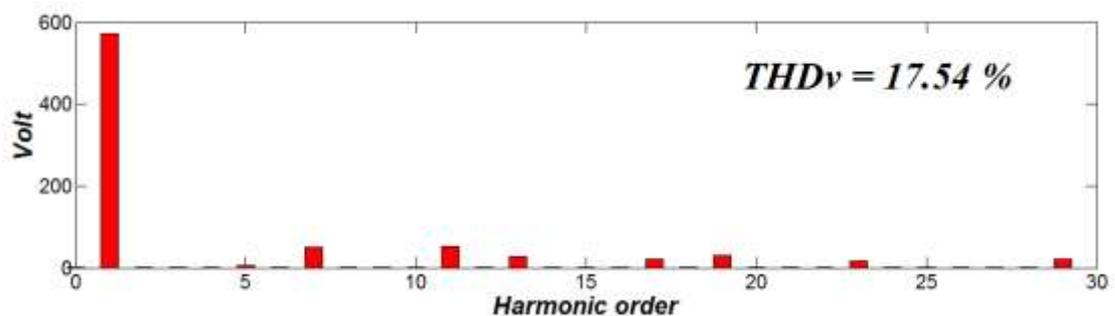
(ข)

รูปที่ 4.22 รูปคลื่นแรงดันไลน์ (V_{AB}) และกระแสไลน์ (i_A) , (400V/div , 10A/div)

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



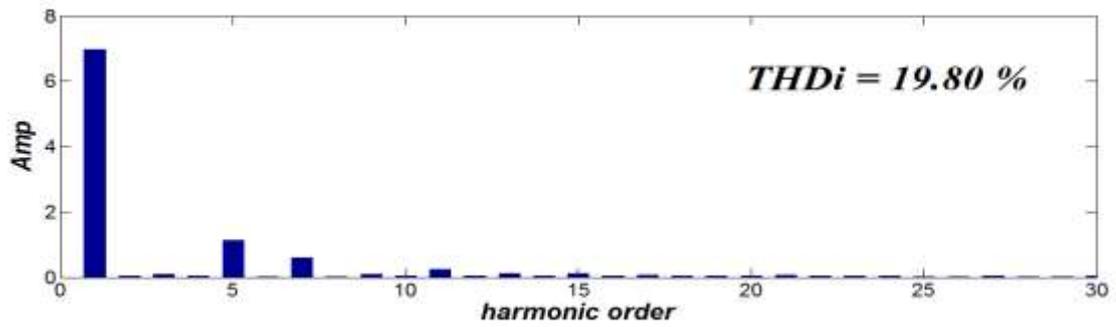
(ก)



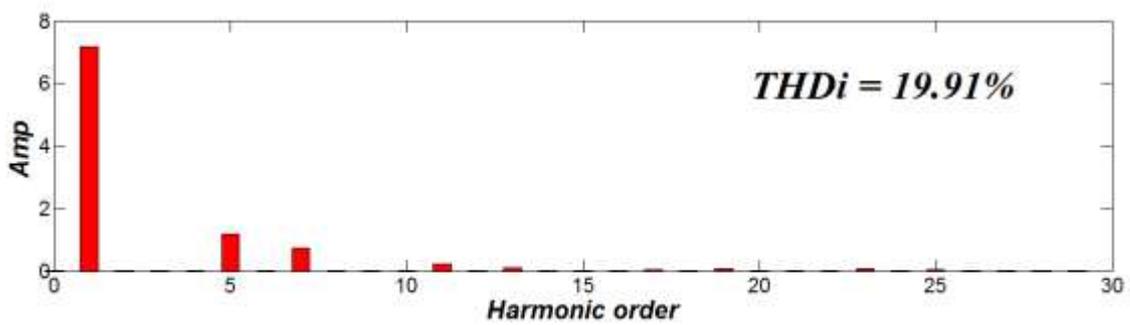
(ข)

รูปที่ 4.23 ฮามอนิกส์สเปกตรัมของแรงดันไลน์ (V_{AB}) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลท์

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



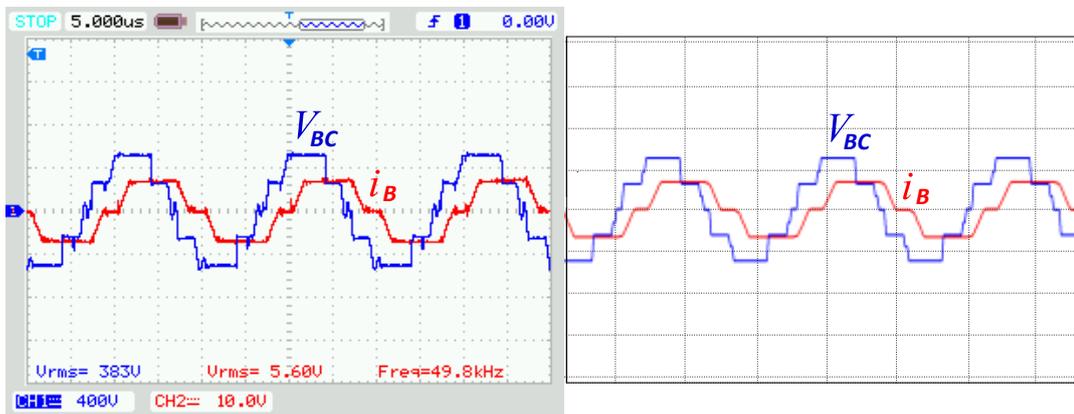
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.24 ฮาโมนิกส์สเปกตรัมของกระแสไลน์ (i_A) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลท์
(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

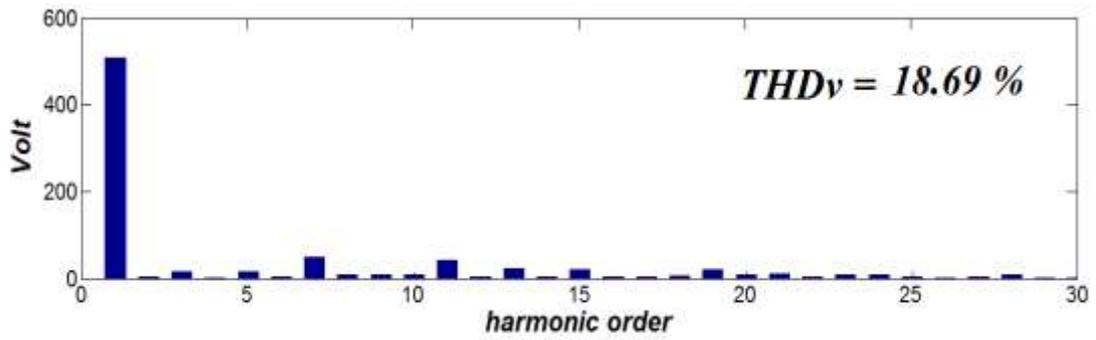
4.3.5 การวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันไลน์ (V_{BC}) และกระแสไลน์ (i_B)



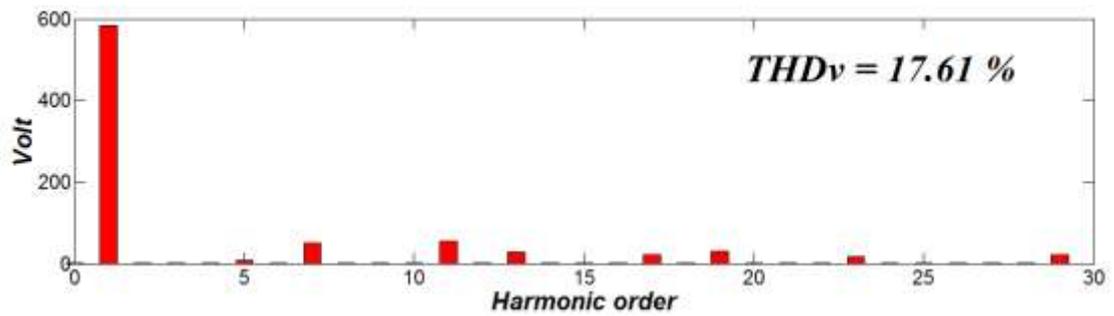
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.25 รูปคลื่นแรงดันไลน์ (V_{BC}) และกระแสไลน์ (i_B), (400V/div, 10A/div)
(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

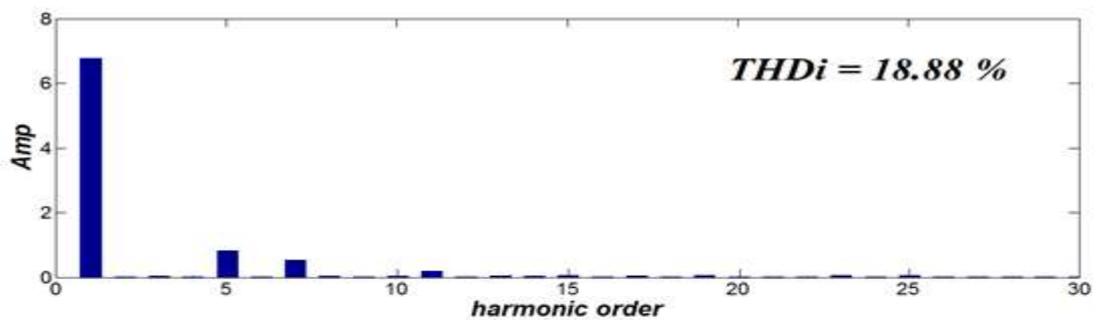


(ก)

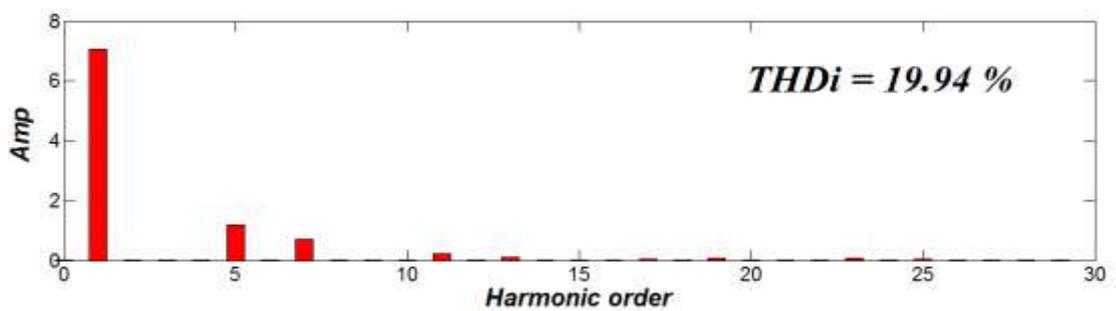


(ข)

รูปที่ 4.26 ฮาโมนิกส์สเปกตรัมของแรงดันไลน์ (V_{BC}) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลต์
(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



(ก)

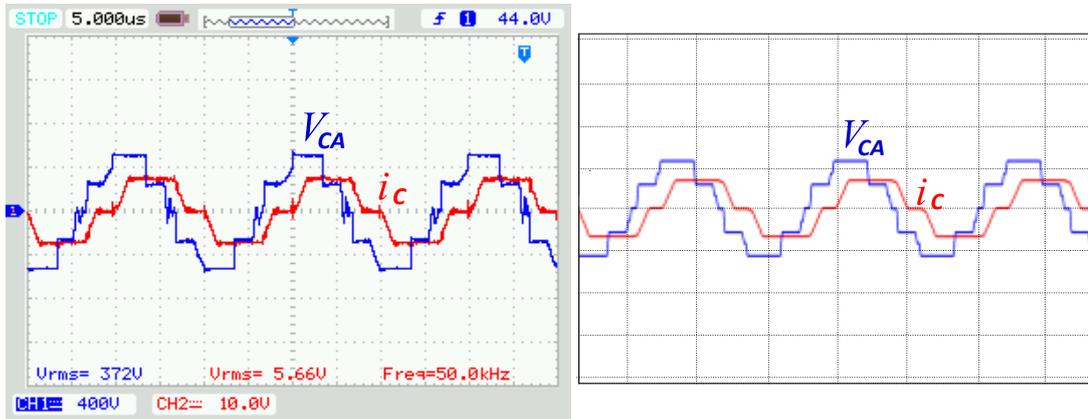


(ข)

รูปที่ 4.27 ฮามอนิกส์สเปกตรัมของกระแสไลน์ (i_B) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลต์

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

4.3.6 การวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันไลน์ (V_{CA}) และกระแสไลน์ (i_C)

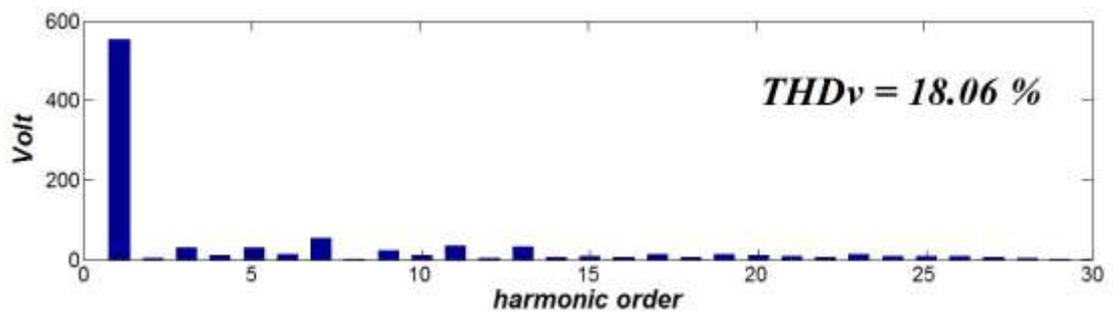


(ก)

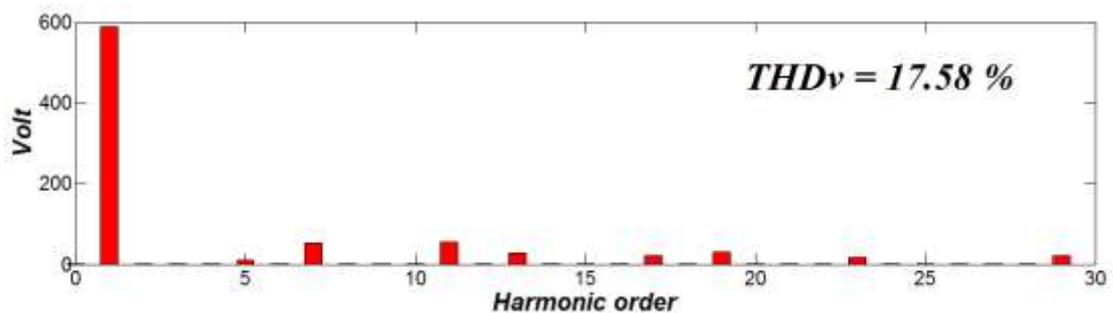
(ข)

รูปที่ 4.28 รูปคลื่นแรงดันไลน์ (V_{CA}) และกระแสไลน์ (i_C) , (400V/div , 10A/div)

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

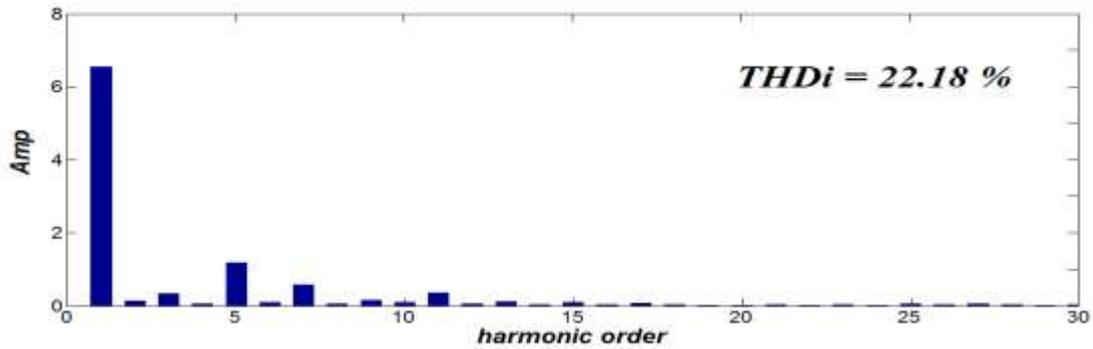


(ก)

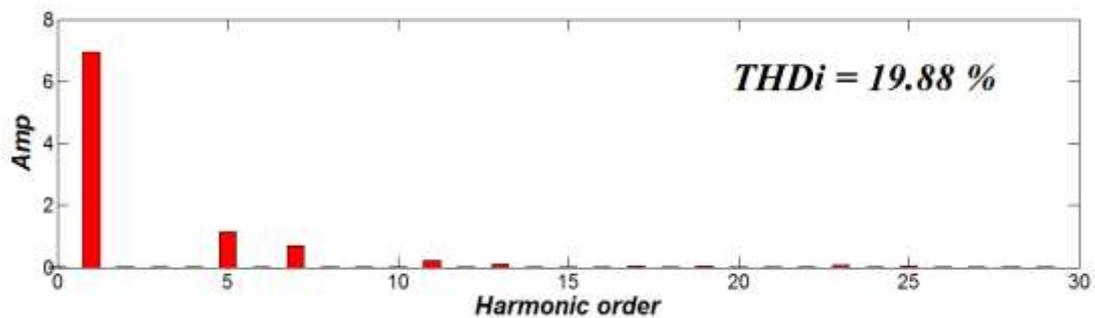


(ข)

รูปที่ 4.29 ฮามอนิกส์สเปกตรัมของแรงดันไลน์ (V_{CA}) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลท์
(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.30 ฮามอนิกส์สเปกตรัมของกระแสไลน์ (i_C) ที่แรงดันอินพุต 530 โวลท์
(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

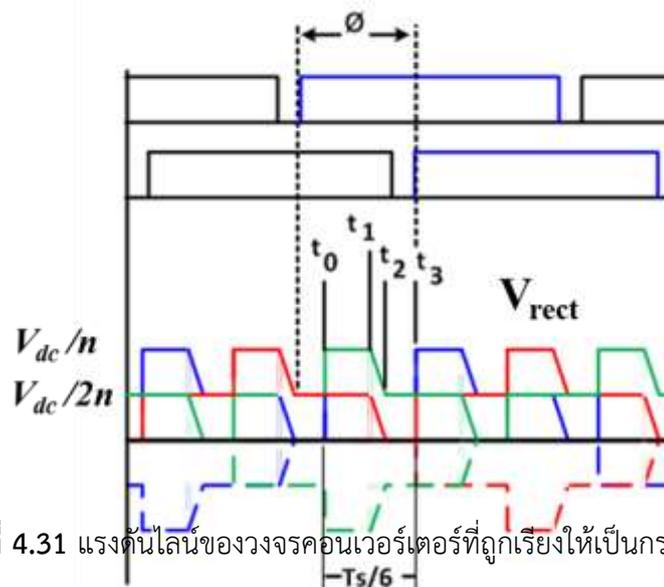
ตารางที่ 4.3 ค่าความผิดเพี้ยนรวมทางฮามอนิกส์ของแรงดันไลน์และกระแสไลน์

	Total Harmonics Distortion	ผลการทดลองจริง	ผลการจำลอง
แรงดันไลน์ V_{AB}	THD_v	18.35 %	17.54 %
กระแสไลน์ i_A	THD_i	19.80 %	19.91 %
แรงดันไลน์ V_{BC}	THD_v	18.69 %	17.61 %
กระแสไลน์ i_B	THD_i	18.88 %	19.94 %
แรงดันไลน์ V_{CA}	THD_v	18.06 %	17.58 %
กระแสไลน์ i_C	THD_i	22.18 %	19.88 %

จากผลการวิเคราะห์ฮามอนิกส์ของรูปคลื่นแรงดันไลน์และกระแสไลน์ ที่ระดับแรงดันอินพุตเท่ากับ 530 โวลต์ พบว่าความผิดเพี้ยนรวมทางฮามอนิกส์ของแรงดันไลน์ มีค่าดังตารางที่ 4.3 ซึ่งจะพบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าความผิดเพี้ยนรวมฮามอนิกส์ของแรงดันเฟส(ตารางที่ 4.2) เนื่องจากรูปคลื่นของแรงดันไลน์มีลักษณะความเป็นขั้นบันไดมากกว่าแรงดันเฟส จากผลการทดลองพบว่าระดับแรงดันไลน์มีถึงห้าระดับทำให้รูปคลื่นมีลักษณะเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์มากขึ้น

4.4 การทดสอบปรับกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการปรับมุมเลื่อนเฟส

การทดสอบปรับกำลังไฟฟ้าของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้จะทำการทดสอบโดยใช้การปรับมุมเลื่อนเฟสของสัญญาณควบคุมพีดับลิวเอ็มระหว่างสวิตซ์ช่วงในและสวิตซ์ช่วงนอก โดยการปรับเปลี่ยนมุมเลื่อนเฟสนี้จะเป็นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรคอนเวอร์เตอร์เปลี่ยนแปลงไปทำให้กระแสเอาต์พุตมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เมื่อทั้งแรงดันเอาต์พุตและกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเป็นสาเหตุให้กำลังไฟฟ้าของวงจรคอนเวอร์เตอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่ได้นำเสนอสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้



รูปที่ 4.31 แรงดันไลน์ของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ถูกเรียงให้เป็นกระแสตรง

กำหนดให้ $t_2 - t_1 = t_d$ และ $t_3 - t_2 = \beta$ จากรูปจะได้ว่า $2\beta + (t_1 - t_0) + t_d = \phi$ และ

$(t_1 - t_0) + t_d + \beta = \frac{T_s}{6}$ สามารถหาแรงดันเฉลี่ยของวงจรคอนเวอร์เตอร์ได้จากสมการที่ 4.3

$$V_{out} = \frac{6}{T_s} \cdot \left[\frac{V_{dc}}{n} \cdot \left(\frac{T_s}{3} - \phi - t_d \right) + \left(\frac{V_{dc}}{2n} \right) t_d + \frac{V_{dc}}{2n} \cdot \left(\phi - \frac{T_s}{6} \right) \right] \quad (4.3)$$

เมื่อทำการจัดรูปสมการที่ 4.3 จะได้สมการที่ 4.4

$$V_{out} = \frac{6}{T_s} \cdot \left[\frac{V_{dc}}{n} \cdot \left(\frac{T_s}{4} - \frac{\phi}{2} - \frac{t_d}{2} \right) \right] \quad (4.4)$$

โดย ϕ คือ มุมเลื่อนเฟสของสัญญาณควบคุม (Phase shift angle)

t_d คือ ช่วงเวลาเดดไทม์ของสัญญาณควบคุม

n คือ อัตราส่วนของหม้อแปลงความถี่สูง

T_s คือ คาบเวลาของสัญญาณควบคุม

เมื่อกำหนดให้ R_L คือความต้านทานของโหลด ดังนั้นจึงสามารถหากำลังไฟฟ้าได้จาก

$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{R_L} \quad (4.5)$$

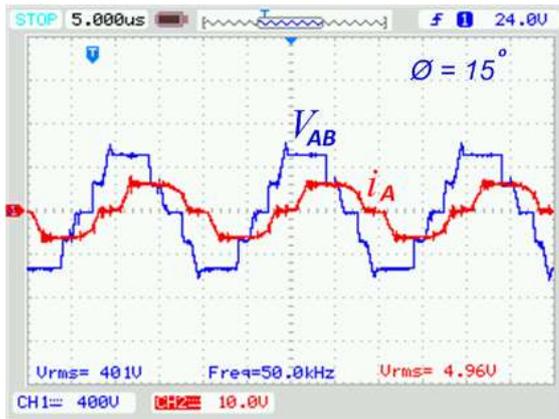
นำสมการที่ 4.4 แทนค่าในสมการที่ 4.5 จะได้

$$P_{out} = \frac{\left[\frac{6}{T_s} \cdot \left[\frac{V_{dc}}{n} \cdot \left(\frac{T_s}{4} - \frac{\phi}{2} - \frac{t_d}{2} \right) \right] \right]^2}{R_L} \quad (4.6)$$

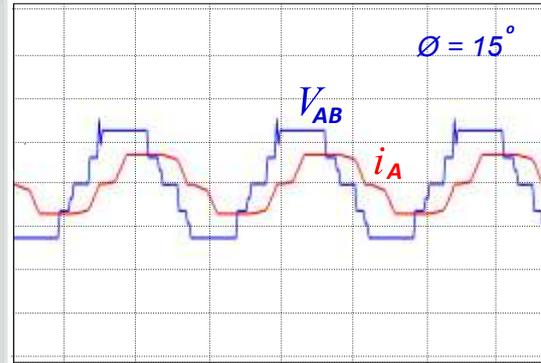
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสขาเข้ากับแรงดันและกระแสขาออกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเลื่อนเฟส

V_{in} (V)	I_{in} (A)	P_{in} (W)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (W)	ϕ (degree)
529.6	6.54	3463.58	111.8	28.18	3206.88	15
529.8	6.40	3390.72	111.0	28.10	3119.1	30
530.5	5.97	3167.09	105.2	27.32	2874.06	45
529.8	4.78	2532.44	90.8	25.19	2287.25	60
529.7	3.73	1975.78	76.2	23.00	1752.60	75
530.3	2.78	1474.23	62.1	20.66	1282.99	90

ตารางที่ 4.4 เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน, กระแสและกำลังไฟฟ้าขาเข้ารวมไปถึงแรงดัน, กระแสและกำลังไฟฟ้าขาออกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเลื่อนเฟสจาก 15 องศาถึง 90 องศาโดยทำการทดสอบที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 530 โวลต์ พบว่าเมื่อปรับมุมเลื่อนเฟสให้มีค่ามากขึ้นก็จะทำให้กำลังไฟฟ้าขาเข้าและขาออกของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีค่าน้อยลง



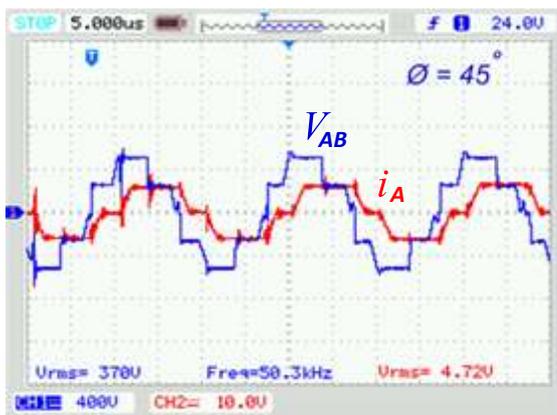
(ก)



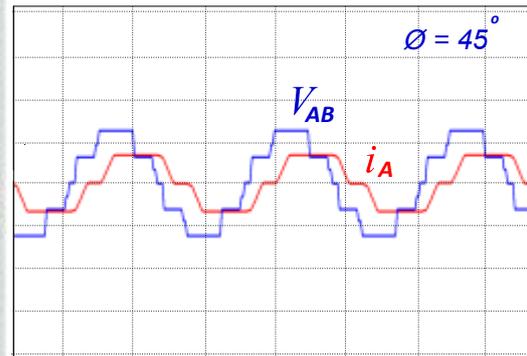
(ข)

รูปที่ 4.32 รูปคลื่นแรงดันไลน์ V_{AB} และกระแสไลน์ i_A ที่มุมเลื่อนเฟส 15 องศา

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



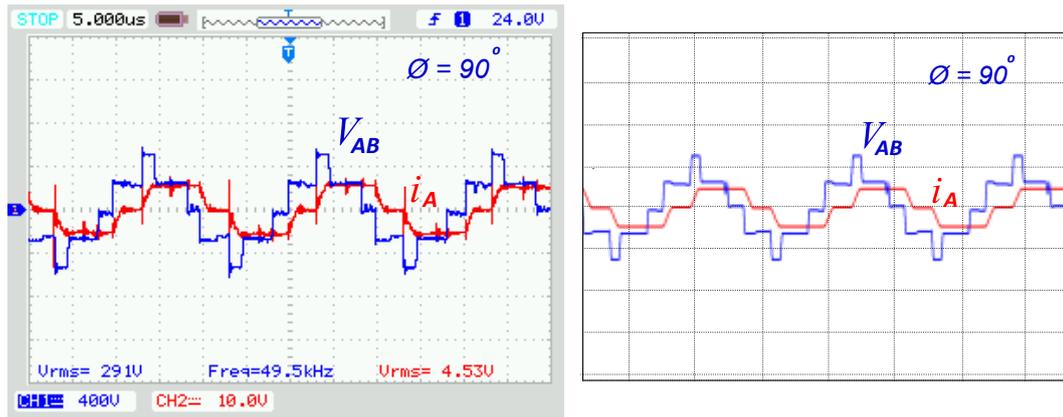
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.33 รูปคลื่นแรงดันไลน์ V_{AB} และกระแสไลน์ i_A ที่มุมเลื่อนเฟส 45 องศา

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



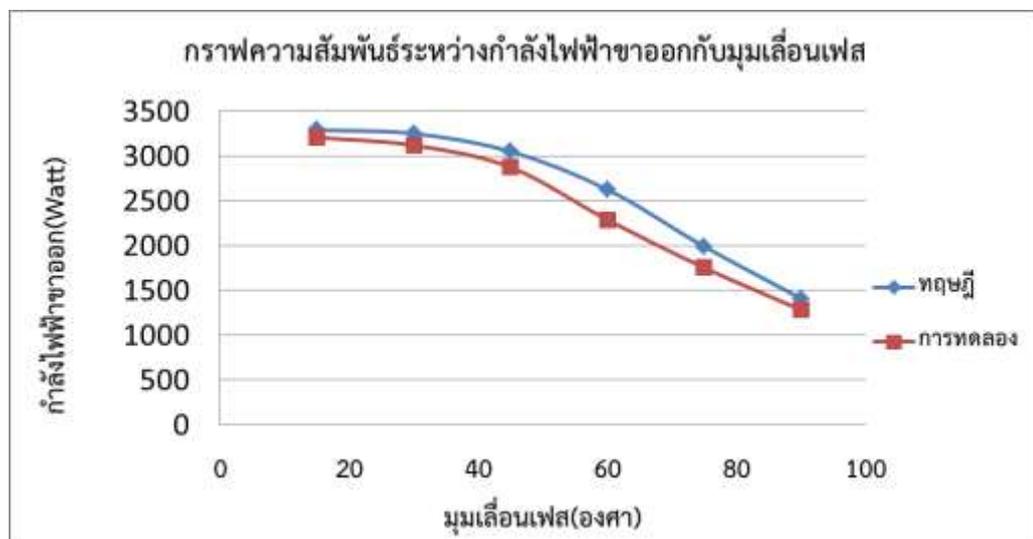
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.34 รูปคลื่นแรงดันไลน์ V_{AB} และกระแสไลน์ i_A ที่มุมเลื่อนเฟส 90 องศา

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

จากรูปที่ 4.32 ถึงรูปที่ 4.34 แสดงรูปคลื่นแรงดันไลน์ V_{AB} และกระแสไลน์ i_A ที่มุมเลื่อนเฟส 15, 45 และ 90 องศาตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าเมื่อมุมเลื่อนเฟสของสัญญาณควบคุมมีค่ามากขึ้น แรงดันไลน์ V_{AB} และกระแสไลน์ i_A ก็จะมีค่าน้อยลงสังเกตได้จากเนื้อแรงดันส่วนบนของรูปคลื่น แรงดันไลน์มีค่าแคบลงเรื่อยๆเมื่อเพิ่มมุมเลื่อนเฟสขึ้น ทำให้กำลังไฟฟ้าของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีค่าน้อยลงตามไปด้วย



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าขาออกของวงจรคอนเวอร์เตอร์กับมุมเลื่อนเฟส

จากรูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าขาออกของวงจรคอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมเลื่อนเฟสโดยได้ทำการพล็อตผลที่วัดได้จากทางทฤษฎีเทียบกับผลการทดลองจริง ซึ่งพบว่ามีความโน้มใกล้เคียงกันคือเมื่อมุมเฟสเพิ่มมากขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้ามูลค่าลดลง แต่ยังคงพบ

ความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างโดยเฉพาะในช่วงมุมเลื่อนเฟส 15 องศา ซึ่งสาเหตุของความคลาดเคลื่อนอาจเกิดมาจากการทดลองจริงที่พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงๆ ทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้พารามิเตอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปนอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์แฝงในวงจรด้วย

4.5 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของวงจร

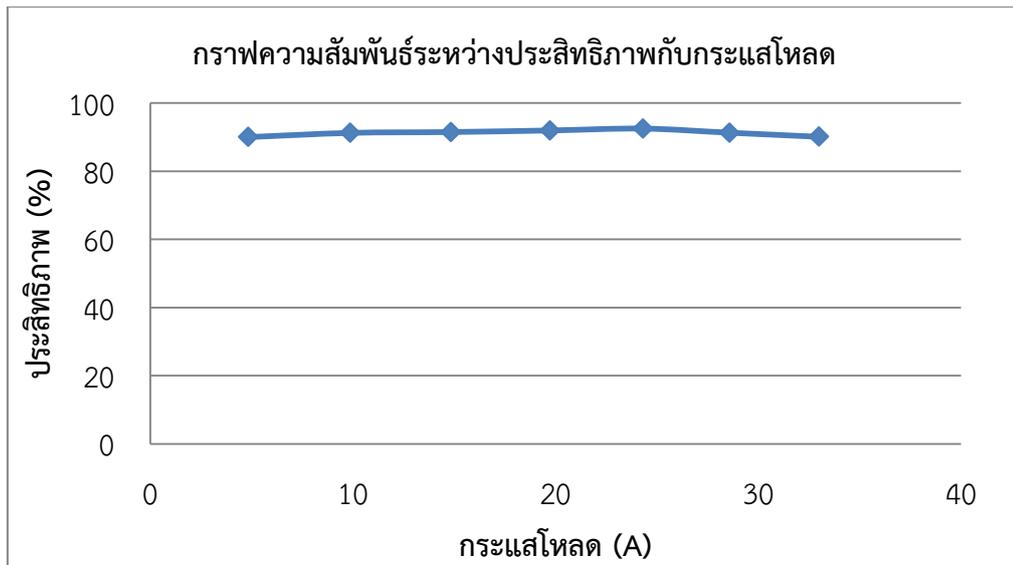
การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้น ได้ทำการทดสอบที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 530 โวลต์และแรงดันไฟฟ้าขาออก 110 โวลต์ที่ความถี่สวิตช์ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ทำการทดสอบโดยเพิ่มโหลดทีละสเต็ปแล้วทำการวัดกระแสขาเข้าและกระแสขาออกของวงจรที่ได้ทำการสร้างขึ้นเพื่อทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้าและกำลังไฟฟ้าขาออกจากนั้นนำมาหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรดังสมการที่ 4.7

$$\varepsilon = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out} \cdot i_{out}}{V_{in} \cdot i_{in}} \quad (4.7)$$

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสขาเข้ากับแรงดันและกระแสขาออกกับประสิทธิภาพการทำงานของวงจร

V_{in} (V)	i_{in} (A)	V_{out} (V)	i_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efficiency(%)
529.6	1.12	110.3	4.84	593.15	534.01	90.03
530.4	2.25	110.6	9.87	1193.40	1092.96	91.26
530.5	3.37	109.9	14.83	1787.79	1630.07	91.51
530.5	4.46	109.7	19.73	2366.03	2164.44	91.98
530.8	5.46	110.6	24.31	2898.17	2688.68	92.52
530.6	6.51	110.1	28.59	3454.21	3148.32	91.31
529.9	7.62	110.8	32.99	4037.84	3655.39	90.12

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.5 เมื่อนำค่าที่ได้มาพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกระแสเอาต์พุตที่โหลดของวงจรคอนเวอร์เตอร์จะได้กราฟดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของวงจรคอนเวอร์เตอร์กับกระแสไหลต

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.5 และกราฟประสิทธิภาพของวงจรคอนเวอร์เตอร์กับกระแสไหลตพบว่าวงจรที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 92.52 % ที่กำลังไฟฟ้า 2.7 กิโลวัตต์และนอกจากนี้แล้ววงจรยังถูกทดสอบการทำงานที่พิกัดกำลังงานไฟฟ้า 3.5 กิโลวัตต์แต่พบว่าประสิทธิภาพของวงจรมีค่าลดลงเหลือเพียง 90.12 % อันเนื่องมาจากที่พิกัดกำลังงานไฟฟ้าสูงๆ นั้นวงจรจะเกิดความสูญเสียอันเนื่องมาจากการนำกระแสของอุปกรณ์และลวดตัวนำภายในวงจร (Conduction losses) อีกสาเหตุหนึ่งมาจากสถานะอิ่มตัวของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงสามเฟสภายในวงจรทำให้หม้อแปลงไม่สามารถส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.6 ผลของค่าตัวเก็บประจุลือกิ่งต่อช่วงเวลารีเซ็ต

การทดสอบเพื่อการศึกษาผลของค่าตัวเก็บประจุลือกิ่งที่มีต่อช่วงเวลารีเซ็ต (Reset time) ซึ่งจะทำให้การแบ่งการทดสอบเป็นสองกรณีได้แก่ กรณีที่ใส่ตัวเก็บประจุลือกิ่งและกรณีที่ไม่มีการใส่ตัวเก็บประจุลือกิ่ง โดยทำการทดสอบที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 530 โวลต์

4.6.1 กรณีใส่ตัวเก็บประจุลือกิ่ง

กรณีที่มีการใส่ตัวเก็บประจุลือกิ่งนั้นช่วงเวลารีเซ็ตของกระแสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะเป็นไปตามสมการ

$$T_{reset} = \frac{4 \cdot L_{lk} \cdot i_{Peak}}{V_{dc} + 4 \cdot \left[\left(\frac{i_{peak}}{2 \cdot C_{bc}} \right) \cdot \left(\frac{T}{2} - T_{shift} \right) \right]} \quad (4.8)$$

โดย L_{lk} คือ ตัวเหนี่ยวนำรั่วไหล

i_{Peak} คือ ค่ากระแสสูงสุดด้านปฐมภูมิ

C_{bc} คือ ค่าตัวเก็บประจุล้อยก

T คือ คาบเวลาของสัญญาณควบคุม

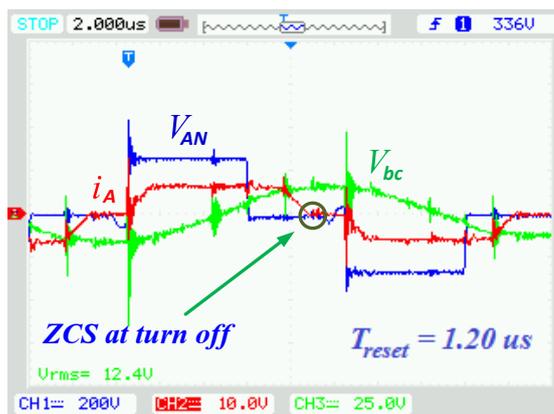
T_{shift} คือ ช่วงเวลาเลื่อนเฟสระหว่างสวิตช์ช่วงนอกและสวิตช์ช่วงใน

V_{dc} คือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

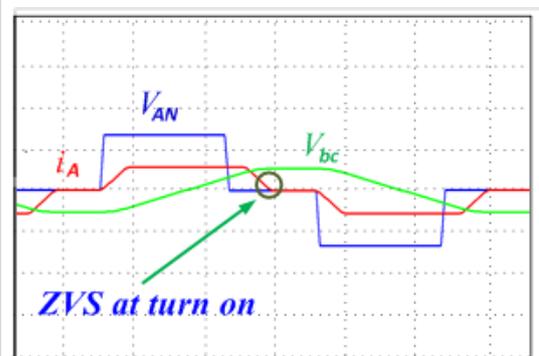
ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมของตัวเก็บประจุล้อยกที่ส่งผลต่อช่วงเวลารีเซ็ตจึงได้ทำการวัดค่าเวลารีเซ็ตของกระแสด้านปฐมภูมิเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเก็บประจุล้อยกจำนวน 4 ค่าเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางทฤษฎีจากสมการที่ (4.8) เมื่อค่า $i_{Peak} = 6.4 \text{ A}$, $T = 20 \mu\text{s}$, $T_{shift} = 2.5 \mu\text{s}$, $V_{dc} = 530 \text{ V}$ และ $L_{lk} = 26.51 \mu\text{H}$ (แสดงการวัดค่าในภาคผนวก จ.) ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลของค่าตัวเก็บประจุล้อยกต่อช่วงเวลารีเซ็ต

ค่าปลอกกึ่งคาปาซิเตอร์	เวลารีเซ็ต(ทดลอง)	เวลารีเซ็ต(ทฤษฎี)
1.5 μF	1.200 μs	1.143 μs
1 μF	1.160 μs	1.084 μs
0.75 μF	1.130 μs	1.031 μs
0.5 μF	0.980 μs	0.940 μs

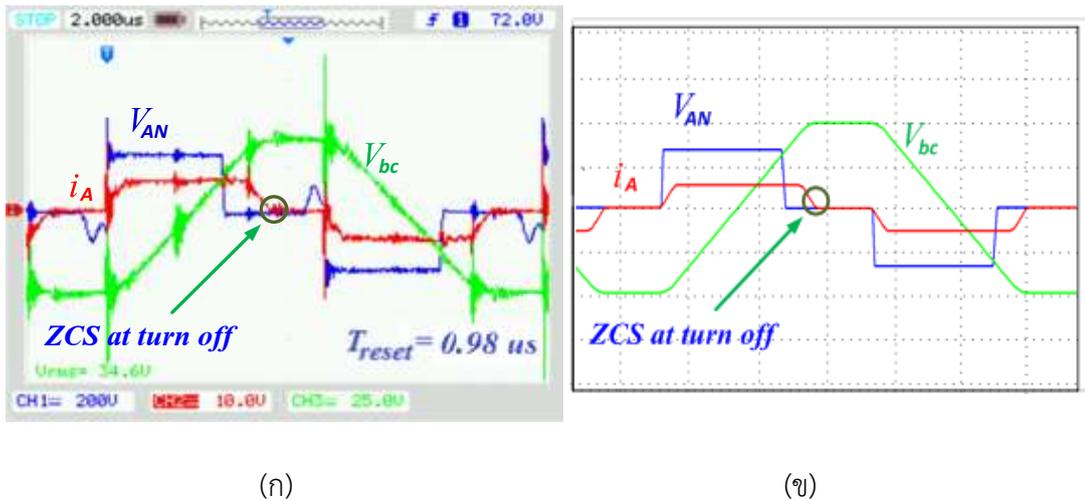


(ก)

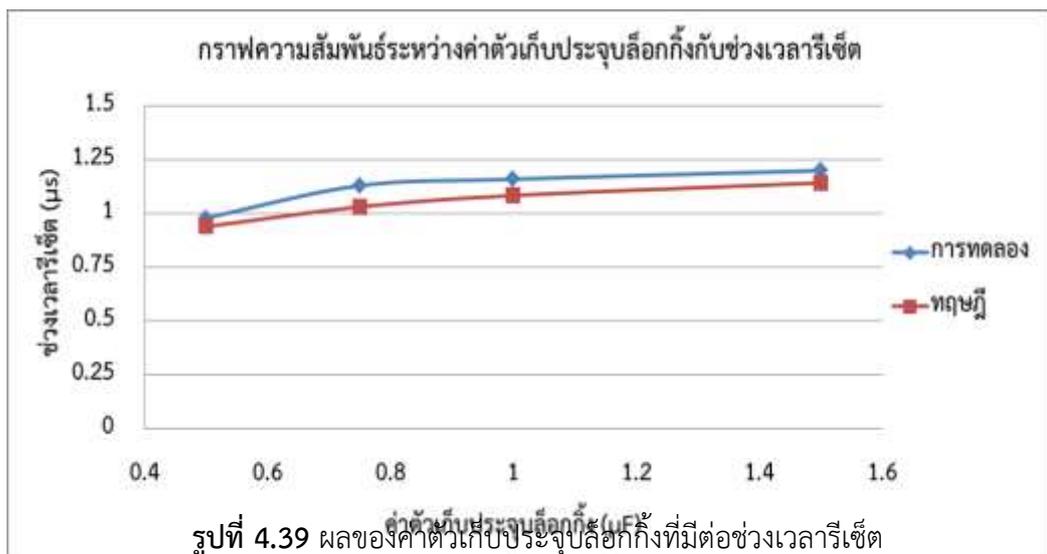


(ข)

รูปที่ 4.37 ช่วงเวลารีเซ็ตเมื่อ $C_{bc} = 1.5 \mu\text{F}$,(200V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง
(ข) จากการจำลอง



รูปที่ 4.38 ช่วงเวลารีเซ็ตเมื่อ $C_{bc} = 0.5 \mu F$,(400V/div , 10A/div) (ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง



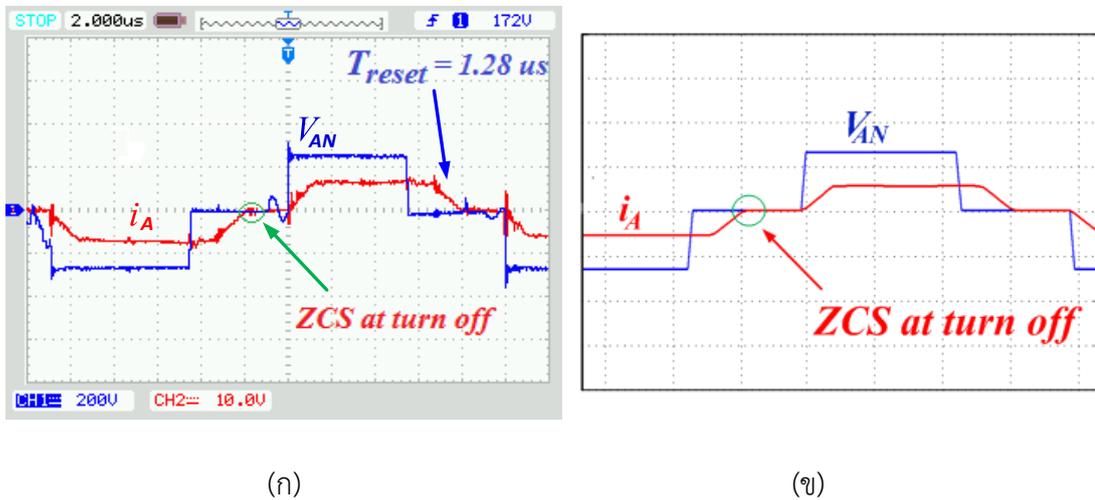
รูปที่ 4.39 ผลของค่าตัวเก็บประจุลือกิ่งที่มีต่อช่วงเวลารีเซ็ต

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อทำการลดค่าของตัวเก็บประจุลือกิ่งลงจะทำให้ช่วงเวลารีเซ็ตมีค่าน้อยลงตามไปด้วย เนื่องจากค่าตัวเก็บประจุลือกิ่งมีค่าน้อยลงแรงดันตกคร่อมของตัวเก็บประจุจะมีค่ามากทำให้สามารถช่วยดึงกระแสต้านปฏิกิริยาให้ลดลงเป็นศูนย์ได้อย่างรวดเร็ว

4.6.2 กรณีไม่ใส่ตัวเก็บประจุลือกิ่ง

ในกรณีที่ไม่มีใส่ตัวเก็บประจุลือกิ่งนั้น จะไม่มีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุลือกิ่ง ดังนั้นกระแสต้านปฏิกิริยาในเฟสใดๆจะลดลงด้วยผลของการเพิ่มขึ้นของกระแสปฏิกิริยาของอีกเฟสหนึ่ง จากหลักของความสมดุลของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงสามเฟส ซึ่งกระแสในสายนิวทรัลจะมีค่า

เป็นศูนย์ ($I_N=0$) เท่านั้นซึ่งต่างจากในกรณีที่มีการใส่ตัวเก็บประจุลือกิ่งซึ่งจะมีผลของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุลือกิ่งร่วมอยู่ด้วยดังนั้นช่วงเวลารีเซ็ตในกรณีนี้จึงมีค่ามากที่สุด ซึ่งผลการทดสอบที่ได้เป็นดังนี้



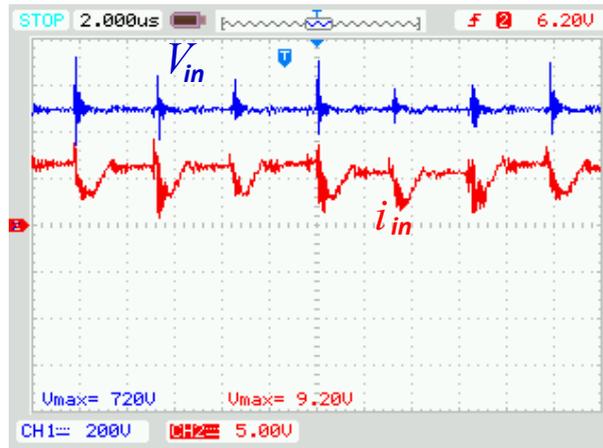
รูปที่ 4.40 ช่วงเวลารีเซ็ตเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุลือกิ่ง ,(400V/div , 10A/div)

(ก) จากผลการทดลอง (ข) จากการจำลอง

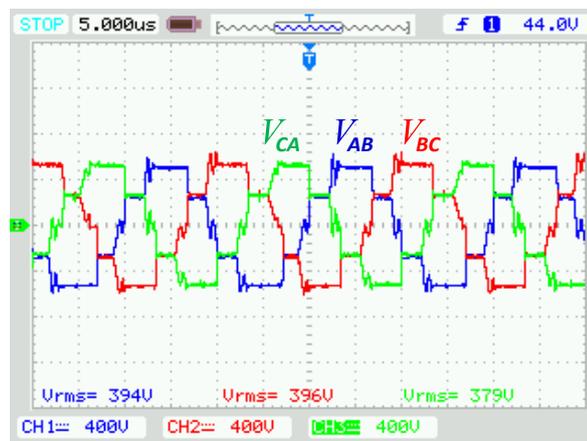
จากผลการทดสอบผลของค่าตัวเก็บประจุลือกิ่งต่อช่วงเวลารีเซ็ตของกระแสต้านปฏิกิริยาของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ในกรณีที่มีการใส่ตัวเก็บประจุลือกิ่งนั้น หากค่าของตัวเก็บประจุมีค่าน้อยลงจะส่งผลทำให้ช่วงเวลารีเซ็ตมีค่าน้อยลงด้วยเนื่องจากเมื่อค่าตัวเก็บประจุลือกิ่งมีค่าน้อยแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่ามากจึงส่งผลให้กระแสตัวลงได้อย่างรวดเร็ว แต่ในกรณีที่ไม่มีการใส่ตัวเก็บประจุลือกิ่งนั้นจะทำให้ช่วงเวลารีเซ็ตมีค่ามากที่สุดเนื่องจากไม่มีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุลือกิ่งในการช่วยทำให้กระแสมีค่าน้อยลงนั่นเอง

4.7 ภาพรวมการทำงานของวงจร

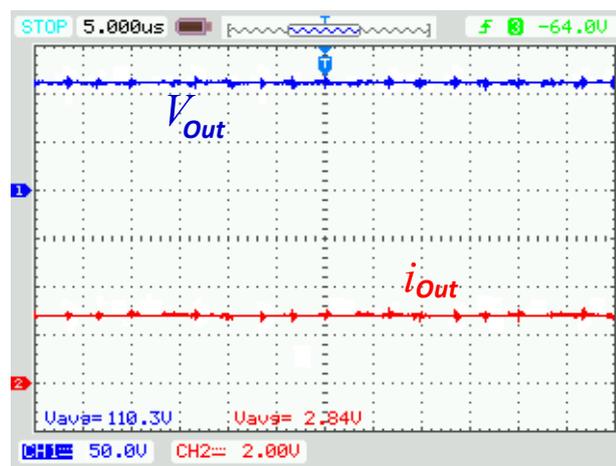
จากการที่ได้ทำการทดสอบการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นพบว่า รูปคลื่นแรงดันอินพุตและกระแสอินพุตจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.41 ซึ่งจะสังเกตเห็นลักษณะของกระแสเฟรมซึ่งเกิดจากการทำงานของอินเวอร์เตอร์ทั้งสามเฟส หลังจากผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสสามระดับแล้วจะพบว่ารูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามรูปที่ 4.42 หลังจากนั้นรูปคลื่นที่ได้จะถูกลดระดับแรงดันลงโดยหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงสามเฟสและถูกเรียงให้เป็นกระแสตรงอีกครั้งโดยผ่านวงจรเรียงกระแสแบบสามเฟสด้านเอาต์พุต หลังจากนั้นจะถูกกรองด้วยวงจร LC ฟิเตอร์ทำให้ได้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรเป็นไปตามรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.41 รูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจร ,(200V/div , 5A/div)



รูปที่ 4.42 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ,(400V/div , 5A/div)



รูปที่ 4.43 รูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านเอาต์พุตของวงจร ,(50V/div , 20A/div)

4.8 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบการทำงานจริงของวงจรที่ได้ทำการสร้างขึ้นเทียบกับการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ซึ่งการทดสอบนั้นได้แสดงให้เห็นลักษณะการเกิดการทำงานด้วยสถานะแรงดันเป็นศูนย์ของสวิตช์วงนอกและเกิดการทำงานด้วยสถานะแรงดันศูนย์และกระแสศูนย์ของสวิตช์วงใน นอกจากนี้ยังได้แสดงการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดรวมทางฮามอนิกส์ของแรงดันและกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบสามระดับ จากนั้นได้ทำการทดสอบการปรับกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีการปรับมุมเลื่อนเฟสของสัญญาณพีดีบีบลิวเอ็มซึ่งพบว่าเมื่อมุมเลื่อนเฟสมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าของวงจรมีค่าน้อยลง นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบเพื่อประสิทธิภาพการทำงานของวงจรที่ได้ทำการสร้างขึ้นซึ่งพบว่ามีค่าสูงสุดที่ประมาณ 92.52 % รวมไปถึงพฤติกรรมของค่าตัวเก็บประจุลือกิ่งที่มีผลต่อช่วงเวลารีเซ็ตของกระแสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงด้วย