ภาคผนวก ค
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

ISSN 0125-1724

วิศวสาร ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 22 ฉบับที่ 4 ธันวาคม 2548

1. Self-Organizing Map หลายลำดับชั้นสำหรับการตรวจจับการบุกรุก 1
สุรพล โรจนประดิษฐ เอื้อน ปิ่นเงิน

2. การจัดกลุ่มโหนดใน Self-Organizing Map โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม 7
กสานติ์ ศรีกุลนาถ พรเทพ โรจนวสุ ไพฑูรย์ ศรีนิล เอื้อน ปิ่นเงิน

3. การวิเคราะห์โครงสร้างการเชื่อมต่อบน IPv6 ภายในองค์กรและการประยุกต์ใช้งาน 13
สุริยา เจริญชุติถาวร กอบชัย เดชหาญ

4. การออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูงขนาด 20 kV 2 mA 19
กิตติพงษ์ ตันมิตร อำนาจ สุขศรี ชัยพร อัตโตดร

5. การออกแบบและวิเคราะห์วงจรเรียงกระแสเอซี/ดีซี 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับปรุงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุทและกระแสอินพุท 25
สกล กลิ่นหรั่น วิจิตร กิณเรศ

6. ผลกระทบของน้ำยาเคมี และน้ำ DI ที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็กของหัวอ่าน-เขียนข้อมูล 31
สมเกียรติ ปรารภ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง ลัดดาวัลย์ สุภาดี

7. การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธี CVD แบบขดลวดความร้อนที่ความดัน 1 บรรยากาศ โดยใช้แอลกอฮอร์และไนโตรเจนเป็นก๊าซพาหะ 36
ณธวรรษ กลีกรรุ่งโรจน์ ปฏิคม ศรีขมพล สุธิชัย ชัยสิทธิศักดิ์

8. วงจรกำเนิดฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลห้างานในโหมดกระแสใช้แรงดันต่ำด้วยเทคโนโลยีซีมอส 42
มนตรี คำเงิน รัฐพล บุญมา กอบชัย เดชหาญ

9. วงจรบวกทางเวกเตอร์หลายหน้าที่ด้วยซีมอส 46
มนตรี คำเงิน คมกฤช โกมลเจิดศิริ กอบชัย เดชหาญ

10. ผลกระทบของเครือข่ายที่ใช้ชุดควบคุมหลักสั่งการชุดควบคุมย่อยเพียงชุดควบคุมเดียวของระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ 52
วิจิตต์ แก้วไทรเทียม กอบชัย เดชหาญ

11. การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ DS-QPSK CDMA โดยใช้ช่องสัญญาณการจางแบบนาคากามิ 57
เกรียงวุฒิ จรภักดี กอบชัย เดชหาญ

การออกแบบและวิเคราะห์วงจรเรียงกระแสเอซี/ดีซี 6 พัลส์ คอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับปรุงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุทและกระแสอินพุท

Design and Analysis of a 6-Pulse Converter with Improved Output Voltage and Input Current Wave-Shapes

นายสกล กลิ่นหรั่น วิจิตร กิณเรศ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและวิเคราะห์วงจรเรียงกระแสเอซี/ดีซี 6 พัลส์ คอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับปรุงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุทและกระแสอินพุท โดยใช้วงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่มีวงจรไทริสเตอร์ช่วย ต่อเข้ากับแทปหม้อแปลงอินเตอร์เฟส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการกำจัด ฮาร์มอนิก ของกระแสทางด้านอินพุท และการเพิ่มจำนวนพัลส์ แรงดันทางด้านเอาท์พุท โดยการกำหนดมุมนำกระแสให้กับไทริสเตอร์ ซึ่งในหลักการที่จะนำเสนอนี้จะมีโครงสร้างที่ง่าย ด้วยการใช้ชุดอุปกรณ์ไทริสเตอร์ทั้งหมด 8 ตัว และในงานวิจัยยังได้มีการออกแบบการทำงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อยืนยันความถูกต้อง การทำงานของวงจรพร้อมด้วยผลการทดลอง

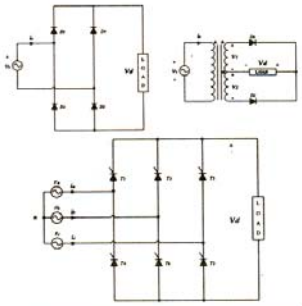
Abstract

This paper presents the design and analysis of a 6-pulse converter with improved output voltages and input current wave-shapes using a conventional three-phase full bridge converter having auxiliary thyristors connected to taps on the interphase transformer. The objective of this study is to multiply the pulse number and eliminate the harmonic input current by controlling the firing angle of thyristors. The proposed structure is simple with 8 thyristors. Designed circuit simulation using MATLAB/SIMULINK is also given in order to verify circuit operations together with experimental results.

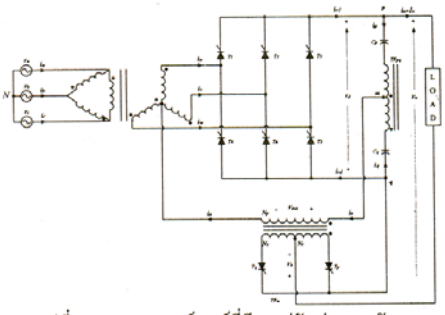
1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้การใช้ระบบกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้มีการใช้อย่างแพร่หลาย เพราะมีค่ากำลังงานที่สม่ำเสมอคงที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลาทำให้มีความสามารถส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเทียบกับระบบกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ[1] และสามารถนำไปใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงงานอุสาหกรรม เช่นระบบควบคุมมอเตอร์[2] ระบบการควบคุมความร้อน ระบบส่งผ่านพลังงาน(HVDC) เป็นต้น ซึ่งการแปลงระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง นั้นมีอยู่หลากหลายวิธีด้วยกัน เช่นวงจรเรียงกระแส 1 เฟสโดยใช้ไดโอดแบบเต็มคลื่น วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบควบคุมเฟส ดังรูปที่ 1 เป็นต้น ซึ่งวงจรเรียงกระแสเหล่านี้ก่อให้เกิดฮาร์มอนิกปะปนเข้ามา กับกระแสด้านเข้าของวงจร ยกตัวอย่างเช่นวงจรเรียงกระแส 3 เฟส 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้อุปกรณ์ไทริสเตอร์เรียงกระแส จะมีกระแสไหลผ่านก็ต่อเมื่อขนาดของแรงดันทางด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสมีค่ามากกว่าแรงดันทางด้านออก ส่งผลให้รูปคลื่นของกระแสทางด้านเข้าผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ กระแสฮาร์มอนิกนี้เองจะเข้าไปสร้างปัญหา โดยการเข้าไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆในระบบ และได้มีงานวิจัยอยู่หลายวิธีด้วยกันที่ต้องการลดค่าฮาร์มอนิก ทางด้านกระแสอินพุท โดยให้รูปคลื่นใกล้เคียงกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์มากที่สุด และลดขนาดริปเปิ้ลของแรงดันทางด้านเอาท์พุท

ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอ เทคนิคการออกแบบการสร้างและการจำลองระบบ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ 1 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบเต็มคลื่น ชนิด 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ เชื่อมต่อกับส่วนที่ 2 วงจรไทริสเตอร์ช่วยโดยใช้หม้อแปลงอินเตอร์เฟส[3] ช่วยในการสวิตช์ซึ่งเพื่อเพิ่มจำนวนพัลส์[4] โดยใช้ไทริสเตอร์(SCR) ทำหน้าที่ควบคุมมุมนำกระแส จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าการออกแบบไม่ซับซ้อนมากนัก และสามารถที่จะลดฮาร์มอนิกทางด้านกระแสอินพุท[4],[5] และช่วยให้การเกิดริปเปิ้ลที่แรงดันเอาท์พุทน้อยลง ในส่วนของหม้อแปลงอินเตอร์เฟส T_{Fpq} จะเป็นตัวคุดซับแรงดันที่แตกต่างระหว่างคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ส่วน ที่เกิดอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสโดยใช้ไดโอดแบบเต็มรูปคลื่นและวงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบควบคุมเฟส



รูปที่ 2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับปรุงแรงดันเอาท์พุท และกระแสอินพุท

2. การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

จากวงจรรูปที่ 2 แสดงถึงวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับปรุงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุท และกระแสอินพุท ซึ่งจะเพิ่มในส่วนที่ 2 คือวงจรไทริสเตอร์ช่วยที่เชื่อมต่ออยู่กับหม้อแปลง T_{Fm} ซึ่งจะต่อระหว่างแทปของหม้อแปลงอินเตอร์เฟส T_{Fpq} (เพื่อช่วยในการฉีดกระแส i_n) และต่อเข้ากับจุดนิวตรอนของหม้อแปลง 3 เฟส แบบสตาร์ส่วนของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ V_d จะเพิ่มในส่วนของตัวเก็บประจุ C_p และ C_q เพื่อช่วยในการลดค่าริปเปิ้ล โดยสมมติให้ค่าริปเปิ้ลของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าน้อยและกำหนดให้ C ทั้ง 2 ตัวมีค่าการเก็บประจุมากๆ กระแส i_n ที่มาจากหม้อแปลงอินเตอร์เฟส T_{Fpq} เมื่อไหลเข้าสู่วงจรไทริสเตอร์ช่วยที่เชื่อมต่ออยู่กับหม้อแปลง T_{Fm} จะสร้างแรงดัน V_{mn}

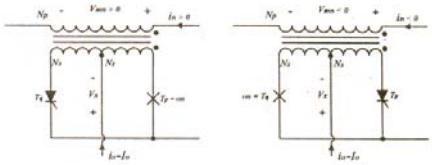
ทางด้านขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งจะมีลักษณะสัญญาณรูปคลื่นแรงดัน V_{mn} เป็นรูปคลื่นแบบฟันเลื่อยจากรูปที่ 4 แรงดัน V_{mn} หาได้จากสมการที่ (1) ขณะที่กระแส i_n จะได้รูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม จากรูปที่ 4 หาได้จากสมการที่ (2) โดยกำหนดมุมนำกระแสของคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ส่วน ให้เท่ากับ 30° จากรูปที่ 2 เมื่อมีการทำงานตามวงจรเรียงกระแส 3 เฟส 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ที่ T_6, T_1 นำกระแสทำให้มีกระแส i_{o1} ไหลเข้าจุด p และถูกแบ่งกระแสที่ i_p และ i_o เมื่อ i_o ไหลเข้าทางด้านขั้วบวกของโหลด และไหลออกที่ขั้วลบ โดยจะไหลเข้าทางหม้อแปลงวงจรไทริสเตอร์ช่วยในขณะที่แรงดัน V_{mn} เป็นแรงดันทางด้านบวกก็จะทำให้ T_p นำกระแสจะมีกระแสไหลออกจากจุด q และก็จะถูกแบ่งกระแสเป็น i_{o2} และ i_q เพื่อที่จะสร้างสัญญาณพัลส์เพิ่มในทางกลับกันที่ T_1, T_2 นำกระแสก็จะมีกระแสไหลออก i_{o1} ไหลเข้าจุด p และถูกแบ่งกระแสที่ i_p เมื่อ i_o ไหลเข้าทางด้านขั้วบวกของโหลดและไหลออกที่ขั้วลบ โดยให้ไหลเข้าทางหม้อแปลงวงจรไทริสเตอร์ช่วยเมื่อแรงดัน V_{mn} เป็นแรงดันทางด้านลบก็จะให้ T_q นำกระแสเพื่อที่จะสร้างพัลส์เพิ่ม ดังนั้นการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในช่วงเวลาต่อไป ก็จะมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกัน

$$V_{mn} = V_{pn} - \frac{V_d}{2} \tag{1}$$

$$i_n = I_o \frac{N_s}{N_p} \quad \text{และ} \quad i_n = -I_o \frac{N_s}{N_p} \tag{2}$$

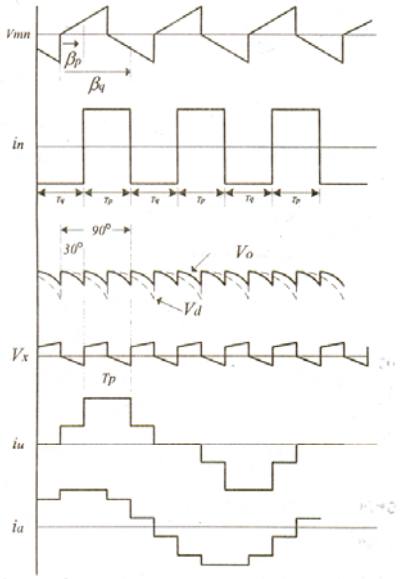
กำหนดให้ α แทนมุมนำกระแสของคอนเวอร์เตอร์ส่วนที่ 1 และ β_p β_q แทนมุมนำกระแสของวงจรช่วยไทริสเตอร์คอนเวอร์เตอร์ในส่วนที่ 2 จากรูปที่ 3 ถ้าแรงดัน V_{mn} เป็นบวก ($V_{mn} > 0$) ไทริสเตอร์ T_p จะนำกระแส ส่วน T_q จะหยุดนำกระแส ขณะเดียวกันถ้าแรงดัน V_{mn} เป็นลบ ที่ ($V_{mn} < 0$) ไทริสเตอร์ T_q จะนำกระแส ส่วน T_p จะหยุดนำกระแส

กระแส i_p และ i_q ทางด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้จากสมการที่ (3) ส่วนกระแส i_u, i_v, i_w จะเป็นกระแสทางด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่หม้อแปลงแบบเดลต้า/สตาร์ สามารถวิเคราะห์หาค่าของกระแสที่ไหลรวมกับของกระแส i_n ได้จากสมการที่ (4-5)



รูปที่ 3 แสดงการทำงานของไทริสเตอร์ T_p, T_q

$$i_p = i_q = \frac{i_n}{2} \tag{3}$$



รูปที่ 4 รูปคลื่นสัญญาณตามทฤษฎีจากวงจรในรูปที่ 2 โดยการกำหนดมุม $\alpha = 30°$ และ $\beta_p = 30°$, $\beta_q = 90°$

$$\begin{aligned} i_{ab} &= ai_u + \frac{i_n}{3} \\ i_{bc} &= ai_v + \frac{i_n}{3} \\ i_{ca} &= ai_w + \frac{i_n}{3} \end{aligned} \tag{4}$$

ดังนั้น

$$i_a = i_{ab} - i_{ca} \quad (5)$$

กระแสทางเอาท์พุท i_{o1} และ i_{o2} ที่เชื่อมต่อระหว่างคอนเวอร์เตอร์ส่วนที่ 1 และวงจรไทริสเตอร์ช่วย ในส่วนที่ 2 ได้จากสมการที่ (6)

$$i_{o1} = I_o + \frac{i_a}{2}$$
$$i_{o2} = I_o - \frac{i_a}{2} \quad (6)$$

กระแสทางด้านอินพุทจะขึ้นอยู่กับการฉีดกระแส i_a และอัตราส่วน a ของหม้อแปลงวงจรไทริสเตอร์ช่วยที่ $a = (N_p/N_s)$ กำหนดที่ 1:1 และที่อัตราส่วน k ของหม้อแปลงอินเตอร์เฟส $k = (N_{ip}/N_{is})$ กำหนดที่ 2:1 เมื่อกำหนดให้คอนเวอร์เตอร์ส่วนที่ 1 มุมนำกระแส α = 30° การคิดมุมนำกระแสวงจรไทริสเตอร์ช่วยในส่วนที่ 2 ที่มุม β_p และ β_q จะได้ว่า $\beta_p = \alpha$ และ $\beta_q = \alpha + 60°$ ดังนั้นจากรูปที่ 4 ที่ β_p = 30° และ β_q = 90° ในส่วนของแรงดัน V_d เท่ากับการทำงานแบบ 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์

แรงดัน V_x เป็นแรงดันที่ตกคร่อมไทริสเตอร์ T_p, T_q ส่วนแรงดันทางด้านเอาท์พุท V_o จะถูกเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็น 2 เท่าของแรงดัน V_d จะสังเกตได้ว่ารูปคลื่นสัญญาณของแรงดันเอาท์พุทมีลักษณะเป็น 12 พัลส์ และรูปคลื่นสัญญาณกระแสอินพุท จะมีลักษณะเข้าใกล้ไซน์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการทำงานจะมีลักษณะเป็น 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4 ดังนั้นที่แรงดันของ V_o และ V_x จะหาได้จากสมการที่ (7-9)

$$V_o = V_d + V_x \quad (7)$$

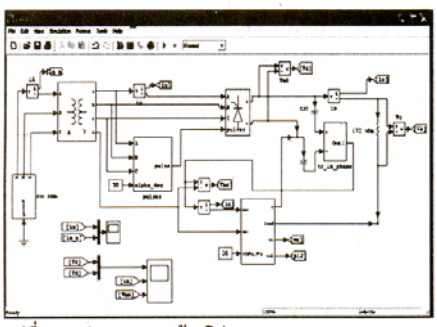
T_p ทำงาน แรงดัน V_x เท่ากับ $V_x = V_{mn}\frac{N_s}{N_p}$ (8)

T_q ทำงาน แรงดัน V_x เท่ากับ $V_x = -V_{mn}\frac{N_s}{N_p}$ (9)

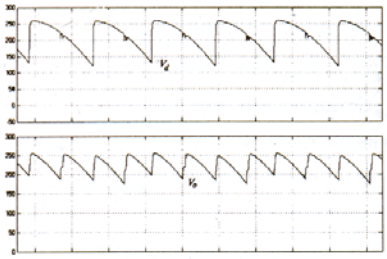
3. ผลการทดลอง

3.1 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

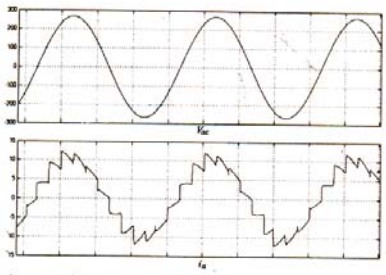
ทำการศึกษาการทำงานของระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อที่ในการทดสอบระบบจริงจะไม่เกิดปัญหาต่อระบบ และทำการเปรียบเทียบดูความแตกต่างระหว่างการทำงานของระบบทดลองจริง กับการจำลองระบบ เพื่อดูลักษณะของสัญญาณ โดยนำวงจรเรียงกระแส 3 เฟส 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์แบบที่มีการควบคุมแรงดันเฟสในโครงสร้างรูปที่ 1 เพื่อนำมาทำการปรับปรุงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันเอาท์พุทและกระแสอินพุท ตามโครงสร้างในรูปที่ 2 วงจรคอนเวอร์เตอร์มีการปรับปรุงรูปคลื่นสัญญาณ เริ่มจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK จากรูปที่ 5 ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ V_{LL} = 190V, R = 243 Ω, a = 1:1, k = 2:1, C_p และ C_q = 2200 μF, α = 30°, β_p = 30° และ β_q = 90°



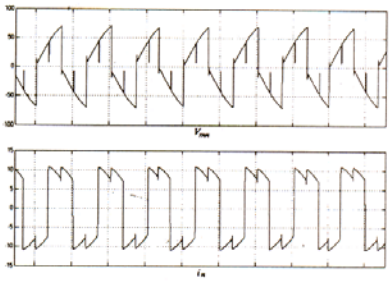
รูปที่ 5 การจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK



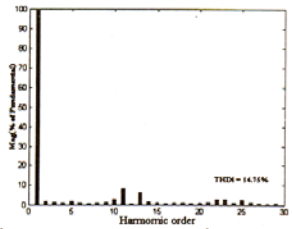
รูปที่ 6 รูปคลื่นสัญญาณ V_d, V_o ที่ได้จากการจำลอง



รูปที่ 7 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันอินพุท V_{ac} และ กระแสอินพุท i_a ที่ (i_a : 0.1A/div)



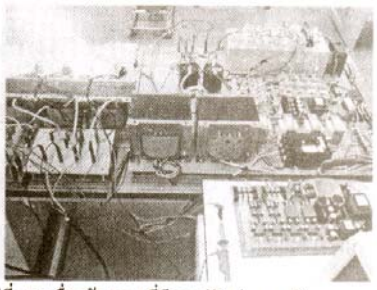
รูปที่ 8 รูปคลื่นสัญญาณ V_{mn}, i_n ที่ (i_n : 0.1A/div)



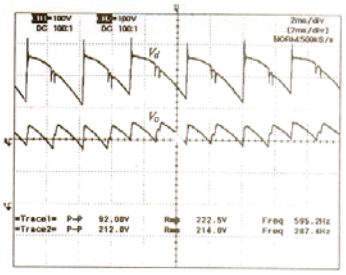
รูปที่ 9 สเปกตรัมของกระแส i_a ที่ THDi = 14.75%

3.2 การทดสอบกับเครื่องต้นแบบ

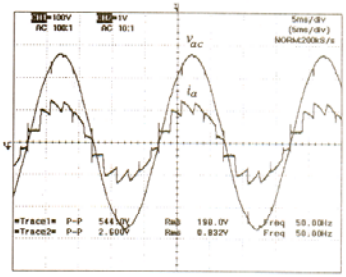
การทดสอบเครื่องต้นแบบของวงจรเรียงกระแส 3 เฟส 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับปรุงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันเอาท์พุทและกระแสอินพุท ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 10 ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ $V_{LL} = 190V$, a = 1:1, k = 2:1, C_p และ $C_q = 2200\,\mu F$, $\alpha = 30°$, $\beta_p = 30°$ และ $\beta_q = 90°$



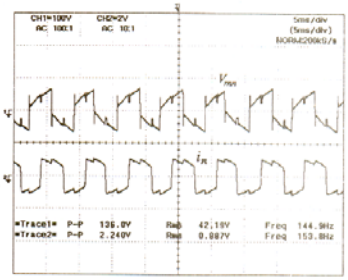
รูปที่ 10 เครื่องต้นแบบ ที่มีการปรับปรุงแรงดันและกระแส



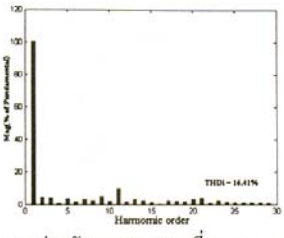
รูปที่ 11 รูปคลื่นสัญญาณ V_d, V_o ที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 12 รูปคลื่นสัญญาณ V_{ac}, i_a ที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 13 รูปคลื่นสัญญาณ V_{mn}, i_n ที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 14 สเปกตรัมของกระแส i_a ที่ THDi = 16.41%

4. ผลการทดลอง

ในบทความได้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับปรุงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุท และกระแสอินพุท โดยมีวงจรไทริสเตอร์ช่วยจากการจำลองระบบ ในรูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบถึงแรงดัน V_dที่การทำงาน 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์แบบดั้งเดิม เมื่อทำการปรับปรุงใหม่แรงดัน V_oที่ได้รูปคลื่นสัญญาณจะมีลักษณะเป็นแบบ 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ ส่วนกระแส i_a จะมีลักษณะรูปคลื่นสัญญาณเข้าใกล้ไซน์ดูได้จากรูปที่ 7 ส่วนในรูปที่ 8 แสดงถึงเมื่อกระแส i_a ถูกฉีดเข้าไปที่หม้อแปลง T_{Fm} ทางด้านปฐมภูมิและจะเกิดสัญญาณแรงดัน V_{ma}ขึ้นเพื่อนำไปควบคุมการทำงานของวงจรไทรีสเตอร์ช่วย ในรูปที่ 9 แสดงถึงสเปกตรัมของกระแส i_a ที่ฮาร์มอนิกลำดับ 5^{th}, 7^{th} ลดลง โดยมีค่า THDi = 14.75% และส่วนของการทดสอบเครื่องต้นแบบ จากรูปที่ (11-13) แสดงรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการทดลองจริง จะเห็นว่าสัญญาณที่ได้จะเหมือนกับการจำลองระบบ แต่มีลักษณะของสัญญาณที่ไม่เรียบมากนักจึงทำให้ ฮาร์มอนิกอันดับ 5^{th} 7^{th} สูงกว่าการจำลองระบบเล็กน้อยที่สเปกตรัมของกระแส i_a ค่า THDi = 16.41% ดูได้จากรูปที่ 14 จากผลการทดลองทั้ง 2 ระบบจะเห็นว่ารูปคลื่นสัญญาณที่ได้จะสอดคล้องตามทฤษฎี

5. บทสรุป

ที่แรงดันด้านเอาท์พุท V_o จะได้แรงดันพัลส์เป็นสองเท่าของแรงดัน V_d และกระแสที่แหล่งจ่าย i_a พบว่าวงจรเรียงกระแส 3 เฟส 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ ที่มีการปรับปรุงกระแสที่แหล่งจ่าย i_a จะมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ มากกว่า 6 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นผลให้ฮาร์มอนิกลำดับ 5^{th}, 7^{th} ลดลงและจากการวิเคราะห์สัญญาณ V_o, i_a จะเห็นได้ว่า การทำงานของวงจรที่มีการปรับปรุงใหม่จะมีลักษณะคล้ายกับการทำงานที่ 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์แบบดั้งเดิม และเมื่อนำมาเทียบกับ 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ไทริสเตอร์ถึง 12 ตัวนั้นจะมีความยุ่งยากทางด้านหม้อแปลงแหล่งของจ่าย ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้หม้อแปลง 3 เฟส 2 ชุดที่มีการเลื่อนเฟสระหว่างกันแต่ด้วยเทคนิคนี้สามารถที่จะช่วยลดปัญหานี้ได้ และนอกจากนี้ยังสามารถลดอุปกรณ์ไทริสเตอร์ลงได้และทำงานได้จริง โดยมีผลสอดคล้องกันกับการจำลองระบบและเป็นไปตามทฤษฎี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] J.Arrillaga and M. Villablanca, "24-Pulse HVDC conversion," *Proc. Inst. Elect. Eng.*, pt. C, Vol. 138, no. 1, pp. 57-64, Jan. 1991.

[2] S.Choi, B. Lee,and P. Enjeti, "New 24-pulse diode rectifier systems for utility interface of high-power ac motor drives," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 33, pp.531-541, Mar./Apr. 1997.

[3] D. J. Perreault and J. G. Kassakian, "Effects of firing of angle imbalance on 12-pulse rectifiers with interphase transformers." *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 10, pp. 257-262, May 1995.

[4] J.Arrlillaga, "Pluse multiplication in parallel convertors by multitap control of interphase reactor," *IEE Proc.*Vol. 139,No. 1, Jan. 1992.

[5] S.Miyairi et al., "New method for reducing harmonic involved input and output of rectifier with interphase transformer." *IEEE Trans. Ind, Applicat.*, vol. IA-22, pp.790-797,Sept./Oct. 1986.