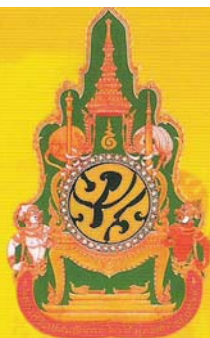


ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



The EECON-29 Conference Joins the Sixtieth Anniversary
Celebration of His Majesty's Accession to the Throne



29th Electrical Engineering Conference

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ ๒๙

Volume I



- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)



๙-๑๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๙

ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี



ดำเนินการโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การวิเคราะห์อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูงที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ด้านเข้าไฟสลับเป็น 1

Analysis of High Frequency Induction Heating with Unity AC Line Input Power Factor

ธรรมจักร กงวิรัตน์ วิริยะ พิษุจิราเรณู

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร. 02-7373000 ต่อ 3516 Email : kpviriya@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอหลักการคำนวณองค์ประกอบพินดาเมนทอลของกระแสไหลตรงโซแนนท์อนุกรม ของอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูงภายใต้เงื่อนไขการป้อนแรงดันอินพุทอินเวอร์เตอร์ที่มีลักษณะคลื่น 50-Hz ที่เรกติฟายแล้ว องค์ประกอบของกระแสไหลตรงที่คำนวณได้สามารถนำไปสู่การคำนวณหาคลื่นกระแสแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz ที่ให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่แหล่งจ่ายเป็น 1 โดยการนำกระแสที่ซึ่งประกอบขึ้นจากองค์ประกอบความถี่สูง ซึ่งได้จากกระแสพินดาเมนทอลของไหลตรงผ่านวงจรฟิลเตอร์ เพื่อให้กระแสที่ดึงจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz เป็นกระแสไซน์บริสุทธิ์ ที่อินเฟสกับแรงดันการไฟฟ้า 50-Hz คลื่นกระแสทั้ง 3 ที่คำนวณได้ในวงจรยังสามารถนำไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า P_o ด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ ค่ากำลังไฟฟ้า P_d ด้านดีซีอินพุทอินเวอร์เตอร์ ตลอดจนค่ากำลังไฟฟ้า P_{in} ด้านแหล่งจ่ายอินพุทการไฟฟ้า ผลการคำนวณทางทฤษฎีทั้งหมดยังได้นำมายืนยันความถูกต้องด้วยการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งได้จากเครื่องทดสอบต้นแบบขนาด 1,800 W ซึ่งปรากฏว่าได้ผลที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก

คำสำคัญ : เพาเวอร์แฟคเตอร์ 1 , เรโซแนนท์ , ความถี่สูง , การเหนี่ยวนำ

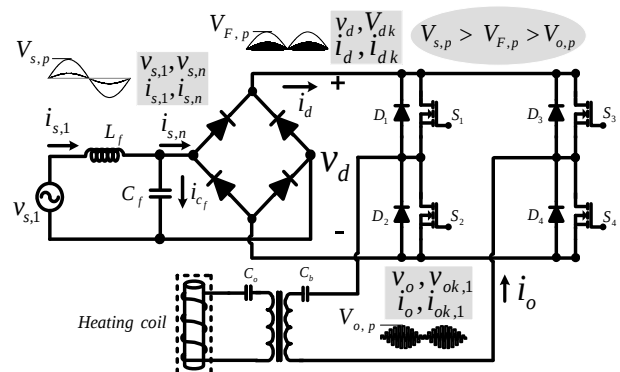
Abstract

This paper present a principle for calculation of fundamental component of series resonant load current of induction heating energized with a high frequency inverter under the inverter input voltage of rectified 50-Hz waveform. This calculated load component current can lead to the calculation of 50-Hz utility supply current waveform which effectively results in a unity ac input power factor by filtering the DC current of high-frequency component waveform which is determined from this load fundamental current to obtain a pure sinusoidal inphase current drawn from 50-Hz utility supply. These three calculated currents can also lead to the calculation of AC output power P_o and DC input power P_d of the inverter and also the input power P_{in} of the 50-Hz utility supply. All these theoretical results are also verified by experimental ones, using the prototype test-set of 1,800 W and the two results are in very good agreement.

Keyword : unity power factor , resonant , high-frequency, induction

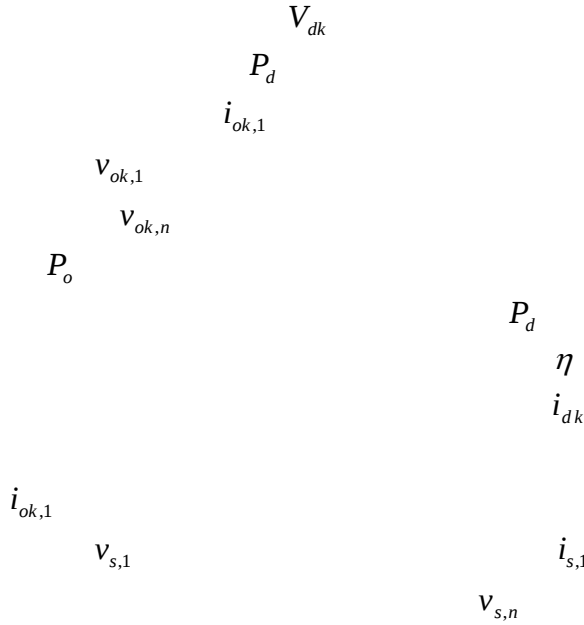
1. บทนำ

ในอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำความถี่สูง ปัญหาที่พบจะเกี่ยวกับการคำนวณหาค่ากระแสพินดาเมนทอลของกระแสที่จ่ายโหลด $i_{ok,1}$ จากทางด้านเอาต์พุทอินเวอร์เตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ของ RL ที่โหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ ซึ่งการวิเคราะห์สมการกระแสพินดาเมนทอลของโหลด $i_{ok,1}$ ในกรณีแรงดันด้านดีซีอินพุทของอินเวอร์เตอร์มีลักษณะเป็นคลื่นดีซีตรงเรียบ ได้มีการวิเคราะห์ไว้แล้วในเอกสารอ้างอิงที่ [1] ส่วนในกรณีที่แรงดันด้านดีซีอินพุทของอินเวอร์เตอร์มีลักษณะเรกติฟายเนื่องจากการปลด C ขนาดใหญ่ที่ด้านดีซีเพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าให้มีค่าสูงสุดเป็น 1



รูปที่ 1 วงจรอินเวอร์เตอร์ขับโหลด Induction Heating แบบเรโซแนนท์

ในขณะที่ด้านโหลดของอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูงนั้นยังไม่มีรายงานผลการวิจัยปรากฏในขณะนี้ ในบทความวิจัยนี้จึงได้ทำการคำนวณวิเคราะห์เพื่อหาสมการกระแสพินดาเมนทอลทางด้านเอาต์พุทอินเวอร์เตอร์ $i_{ok,1}$ ซึ่งขั้นตอนการคำนวณจะเริ่มจากการคำนวณหาค่าแรงดันพินดาเมนทอล $V_{ok,1}$ จากคลื่นแรงดันสแควร์ทางด้านเอาต์พุทอินเวอร์เตอร์ $V_{ok,n}$ ซึ่งได้จากค่าแรงดันด้านดีซี V_{dk} ในแต่ละสแต็ปย่อย ๆ ของคลื่นแรงดัน V_d ลักษณะคลื่นเรกติฟายด้านดีซี ซึ่งมีแต่ละช่วงสแต็ปย่อยห่างเท่ากัน [2] จากนั้นจะนำคลื่น $V_{ok,1}$ ในแต่ละช่วงย่อยนี้ ป้อนเป็นแรงดันอินพุทให้กับวงจรเรโซแนนท์อนุกรม RLC ของโหลด เพื่อคำนวณหาค่ากระแสโหลด $i_{ok,1}$ ของวงจรเรโซแนนท์ $i_{ok,1}$ ที่ได้จะเป็นตัวแปรที่สำคัญ เนื่องจากสามารถนำไปสู่การคำนวณหาค่ากระแส i_{dk} ทางด้านดีซีในแต่ละช่วงย่อยนั้น ซึ่งเมื่อ

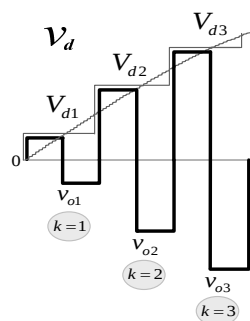


2. การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

วงจรเรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ที่จ่ายโหลดอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความร้อนสูง ในรูปที่ 1 สามารถแบ่งการวิเคราะห์การทำงานได้เป็น 2 ส่วน คือ

2.1 การวิเคราะห์สมการและคลื่นด้านเอาต์พุต

การวิเคราะห์หาสมการคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ที่มีอินพุตของอินเวอร์เตอร์เป็นคลื่นแรงดัน



รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยแรงดันเรกติ

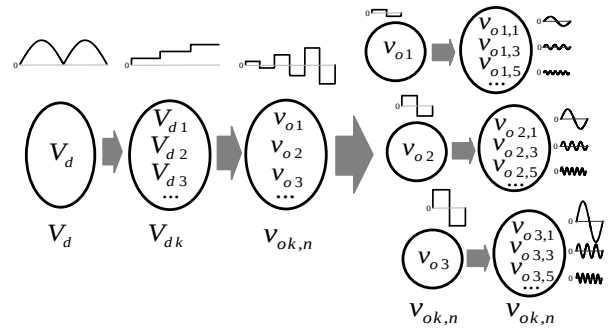
ฟายในแต่ละช่วงย่อย

ดิซรีกิตฟาย \$V_d\$ แทนแรงดันดิซรีกิตฟาย โดยที่แรงดัน \$V_{ok,n}\$ และกระแส \$i_{ok,n}\$ ทางด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ในแต่ละคาบของการสวิตช์ เกิดจากการตัดต่อแรงดันดิซรีกิตฟาย \$V_d\$ ในแต่ละช่วงย่อย ซึ่งสามารถพิจารณาให้เป็นแรงดันดิซรีกิตฟาย \$V_d\$ นี้ให้มีค่าเฉลี่ยคงที่เท่ากับ \$V_{dk}\$ ดังสมการที่ (1)

$$V_{dk} = V_{d1}, V_{d2}, V_{d3}, \dots = V_{F,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \quad (1)$$

และเมื่อแทนค่า \$k\$ ใดๆ ที่ \$k\$ เท่ากับ 1, 2, 3, ... ก็จะได้สมการ

$$V_{d1} = V_{F,p} \sin \left[\frac{\pi}{m_f} \right], V_{d2} = V_{F,p} \sin \left[\frac{3\pi}{m_f} \right], V_{d3} = V_{F,p} \sin \left[\frac{5\pi}{m_f} \right], \dots \quad (2)$$



รูปที่ 3 การพิจารณาแรงดันเอชิสแควร์ \$V_{ok,n}\$ ด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์

จากค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงย่อยของแรงดันดิซรีกิตฟาย \$V_{dk}\$

จากแรงดันในแต่ละสลับช่วงย่อยของ \$V_{dk}\$ สามารถนำมาผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อคำนวณหาสมการแรงดันคลื่นสแควร์ \$V_{ok,n}\$ ทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ได้ดังสมการที่ (3) โดยที่ \$m_f\$ คืออัตราความถี่การมอดูเลตเชิงความถี่ \$f_s/2f\$ และ \$V_{o,p} < V_{F,p}\$

$$V_{ok,n} = \frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \times \left[\sum_{n=1,2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{1}{2n-1} \right) \sin (2n-1) \omega_s t \right] \quad (3)$$

เมื่อแทนค่า \$k\$ ใดๆ ที่ \$k\$ เท่ากับ 1, 2, 3, ... และแทนค่า \$n\$ เท่ากับ 1, 2, 3, ... ในสมการที่ (3) จะได้สมการที่ (4), (5) และ (6) ตามลำดับ

$$V_{o1,n} = \frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{\pi}{m_f} \right] \times \left[\sin (\omega_s t) + \frac{1}{3} \sin (3\omega_s t) + \frac{1}{5} \sin (5\omega_s t) + \dots \right] \quad (4)$$

$$V_{o2,n} = \frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{3\pi}{m_f} \right] \times \left[\sin (\omega_s t) + \frac{1}{3} \sin (3\omega_s t) + \frac{1}{5} \sin (5\omega_s t) + \dots \right] \quad (5)$$

$$V_{o3,n} = \frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{5\pi}{m_f} \right] \times \left[\sin (\omega_s t) + \frac{1}{3} \sin (3\omega_s t) + \frac{1}{5} \sin (5\omega_s t) + \dots \right] \quad (6)$$

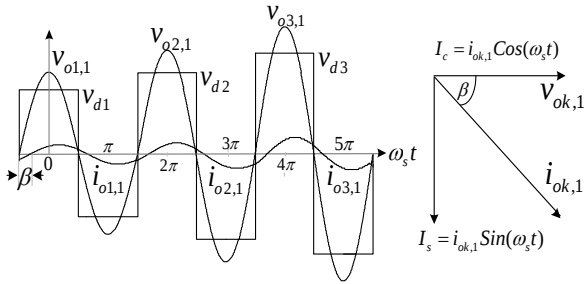
เนื่องจากกระแสทางด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ \$i_{ok,n}\$ มีลักษณะคลื่นใกล้เคียงไซน์ ดังนั้นในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า \$P_o\$ ทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ จึงสามารถคำนวณได้จากคลื่นแรงดันสแควร์ \$V_{ok,n}\$ ทางด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ในสมการที่ (3) โดยพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบพิกัดแกนทอกลของแรงดัน \$V_{ok,1}\$ ดังสมการที่ (7) และกระแสพิกัดแกนทอกล \$i_{ok,1}\$ ดังสมการที่ (9) ซึ่งได้จากการป้อนแรงดัน \$V_{ok,1}\$ ผ่านวงจรโวลตรโชนันท์ RLC ซึ่งมีลักษณะคลื่นแรงดันและเฟสเซอร์ดังรูปที่ 4

$$V_{ok,1} = \left(\frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \right) \sin (\omega_s t) \quad (7)$$

$$V_{ok,1} = V_{o1,1}, V_{o2,1}, V_{o3,1}, \dots = \frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \\ = \frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{\pi}{m_f} \right], \frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{3\pi}{m_f} \right], \frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{5\pi}{m_f} \right], \dots \quad (8)$$

$$i_{ok,1} = \frac{R_{eq} C_{eq}^2 \omega_s^2 \left(\frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \right)}{L_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^4 - 2L_{eq} C_{eq} \omega_s^2 + 1 + R_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^2} \cos(\omega_s t) \quad (9)$$

$$+ \frac{C_{eq} \omega_s \left(\frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \right) (L_{eq} C_{eq} \omega_s^2 - 1)}{L_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^4 - 2L_{eq} C_{eq} \omega_s^2 + 1 + R_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^2} \sin(\omega_s t)$$



รูปที่ 4 อธิบายการวิเคราะห์แรงดันในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมที่มีแหล่งจ่ายเป็นแรงดันขั้นบันได

เมื่อนำกระแสฟลักซ์คานาเมนทอล $i_{ok,1}$ ทางด้านเอซีเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ไปคำนวณร่วมกับคลื่นแรงดันฟลักซ์คานาเมนทอล $V_{ok,1}$ ทางด้านเอซีเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ในแต่ละสแต็ปช่วงย่อย ก็จะสามารคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า P_o ทางด้านเอซีเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ได้ดังสมการ (10) และ สมการที่ (11)

$$P_o = \frac{1}{k} \sum_{k=1,2,3,\dots}^m \left(\frac{V_{ok,1} I_{ok,1}}{2} \right) \cos \beta \quad (10)$$

$$P_o = \frac{1}{2k} \left[\sum_{k=1,2,3,\dots}^m \left(\frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \right) \left[\frac{R_{eq} C_{eq}^2 \omega_s^2 \left(\frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \right)}{L_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^4 - 2L_{eq} C_{eq} \omega_s^2 + R_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^2 + 1} \right]^2 \right. \\ \left. + \left(\frac{C_{eq} \omega_s (L_{eq} C_{eq} \omega_s^2 - 1) \left(\frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \right)}{L_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^4 - 2L_{eq} C_{eq} \omega_s^2 + R_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^2 + 1} \right)^2 \right]^{1/2} \cos \beta \quad (11)$$

เนื่องจากคลื่นกระแส i_{dk} มีความสัมพันธ์โดยตรงกับคลื่นกระแส $i_{ok,1}$ ดังนั้นในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า P_d ด้านดิซอินพุตของอินเวอร์เตอร์ สามารถแทนได้ด้วยคลื่นกระแส $i_{ok,1}$ ที่ได้จากสมการที่ (9) การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า P_d ด้านดิซอินพุตของอินเวอร์เตอร์สามารถหาได้จากกรณำเอาคลื่นกระแส i_{dk} ด้านดิซอินพุตของอินเวอร์เตอร์หรือส่วนของกระแส $i_{ok,1}$ ไปคำนวณร่วมกับแรงดัน V_{dk} ด้านดิซอินพุตของอินเวอร์เตอร์ ในแต่ละสแต็ปย่อยของคลื่นแรงดัน V_d ด้านดิซอินพุตของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถเขียนสมการเพื่อหาค่า

กำลังไฟฟ้า P_d ด้านดิซอินพุตของอินเวอร์เตอร์ได้ดังสมการที่ (11) และ สมการที่ (12)

$$P_d = \frac{1}{k} \sum_{k=1,2,3,\dots}^m \left(\frac{2V_{dk} I_{ok,1}}{\pi} \right) \cos \beta \quad (11)$$

$$P_d = \frac{2}{k\pi} \sum_{k=1,2,3,\dots}^m V_{F,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \left[\left(\frac{R_{eq} C_{eq}^2 \omega_s^2 \left(\frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \right)}{L_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^4 - 2L_{eq} C_{eq} \omega_s^2 + R_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^2 + 1} \right)^2 \right. \\ \left. + \left(\frac{C_{eq} \omega_s (L_{eq} C_{eq} \omega_s^2 - 1) \left(\frac{4}{\pi} V_{o,p} \sin \left[\frac{2\pi k - \pi}{m_f} \right] \right)}{L_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^4 - 2L_{eq} C_{eq} \omega_s^2 + R_{eq}^2 C_{eq}^2 \omega_s^2 + 1} \right)^2 \right]^{1/2} \cos \beta \quad (12)$$

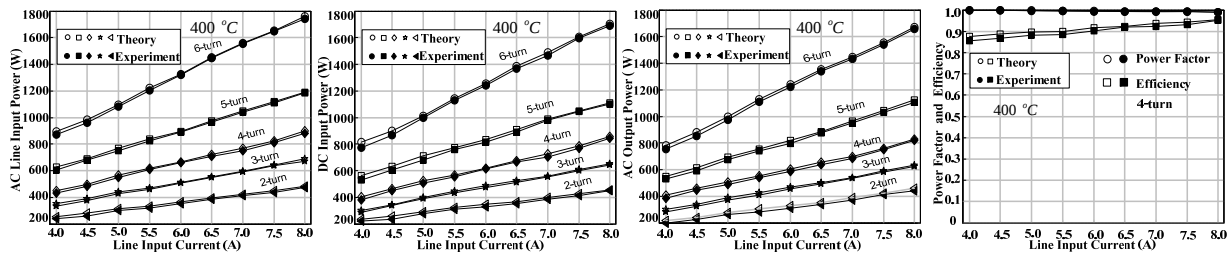
2.2 การวิเคราะห์วงจรจากด้านเอาต์พุตมายังด้านอินพุต

จากลักษณะคลื่นกระแสฟลักซ์คานาเมนทอล $i_{ok,1}$ ทางด้านเอซีเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ที่ได้คำนวณไว้แล้วในสมการที่ (9) สามารถนำมาคิดย้อนกลับไปเป็นกระแสหน้าแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz ได้โดยการแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ในช่วงแรกหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นกระแสฟลักซ์คานาเมนทอล $i_{ok,1}$ ทางด้านเอซีเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ กับคลื่นกระแสดิซ i_{dk} ทางด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์ซึ่งปรากฏว่าคลื่นกระแสดิซ i_{dk} สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสร้างขึ้นมาจากส่วนหนึ่งของคลื่น กระแสฟลักซ์คานาเมนทอล $i_{ok,1}$ จากนั้นจะทำการย้อนกลับในช่วงต่อไป โดยการนำสมการคลื่นกระแสดิซ i_{dk} คิดย้อนกลับไปเพื่อไปหาความสัมพันธ์กับกระแสคลื่น $i_{s,n}$ วิธีการก็คือ นำคลื่นกระแสดิซ i_{dk} ทางด้านอินพุตอินเวอร์เตอร์ มาคูณกับ Switching Function ความถี่ 50-Hz ที่มีขนาดหนึ่งหน่วย จะได้กระแสอินพุตของเรกติฟาย $i_{s,n}$ เมื่อผ่านวงจรฟิลเตอร์แล้วกระแสที่ดึงจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz จะเป็นกระแสไซน์ 50-Hz $i_{s,1}$ ที่อินเฟสกับแรงดันการไฟฟ้า 50-Hz เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับแรงดันแหล่งจ่ายการไฟฟ้า $V_{s,1}$ ก็สามารคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า P_{in} ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า PF และ ค่าประสิทธิภาพ η ของวงจรรวมระหว่างเรกติฟายเออร์และอินเวอร์เตอร์

$$P_{in} = V_{s,1} I_{s,1} \cos \theta_1 + V_{s,2} I_{s,2} \cos \theta_2 + V_{s,3} I_{s,3} \cos \theta_3 + \dots \quad (13)$$

$$PF = \frac{V_{s,1} I_{s,1} \cos \theta_1 + V_{s,2} I_{s,2} \cos \theta_2 + V_{s,3} I_{s,3} \cos \theta_3 + \dots}{V_{s,1} I_{s,1} + V_{s,2} I_{s,2} + V_{s,3} I_{s,3} + \dots} \quad (14)$$

$$\eta = \frac{P_o}{V_{s,1} I_{s,1} \cos \theta_1 + V_{s,2} I_{s,2} \cos \theta_2 + V_{s,3} I_{s,3} \cos \theta_3 + \dots} \quad (15)$$

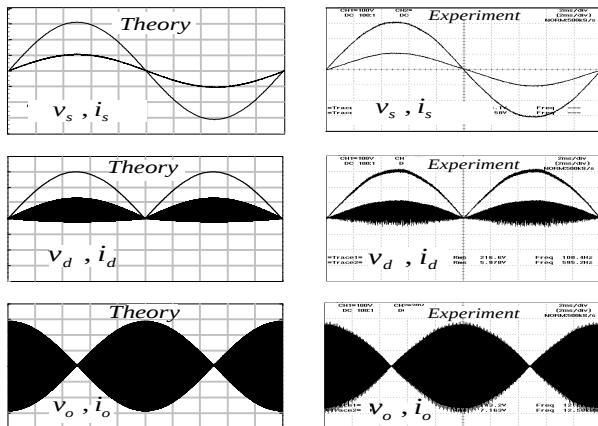


(a) ค่ากำลังไฟฟ้า P_{in} กับกระแส $i_{s,1}$ (b) ค่ากำลังไฟฟ้า P_d กับกระแส $i_{s,1}$ (c) ค่ากำลังไฟฟ้า P_o กับกระแส $i_{s,1}$ (d) PF และ η กับกระแส $i_{s,1}$

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้า P_{in} , ค่ากำลังไฟฟ้า P_d , ค่ากำลังไฟฟ้า P_o , PF และ η กับกระแสด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า $i_{s,1}$

3. ผลการทดลอง

ในบทความวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูงเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎีเพื่อยืนยันความถูกต้องในขั้นตอนสุดท้าย โดยในรูปที่ 6 ได้แสดงคลื่นจากการทดลองของแรงดันและกระแสด้านเอาต์พุตและอินพุตของอินเวอร์เตอร์ รวมทั้งแหล่งจ่ายการไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบกับคลื่นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อจะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ของระบบรวมทั้งได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้า P_{in} ทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า P_d ทางด้านอินพุตอินเวอร์เตอร์ และค่ากำลังไฟฟ้า P_o ทางด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ ซึ่งค่าทั้งหมดนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลในลักษณะของเส้นกราฟที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามกระแสแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 5(a), 5(b) และ 5(c) ตามลำดับ สำหรับค่ากำลังไฟฟ้า P_{in} นั้นสามารถพิจารณา ร่วมกับ $V_{s,n}$ และ $i_{s,n}$ เพื่อคำนวณหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ดังได้เขียนไว้ในสมการที่(14) สำหรับค่าประสิทธิภาพ η สามารถคำนวณได้จากค่ากำลังไฟฟ้า P_o และ P_{in} จากสมการที่ (13) และสมการที่ (15) ส่วนค่าประสิทธิภาพ η และเพาเวอร์แฟกเตอร์ PF ได้เขียนเป็นเส้นกราฟแสดงในรูปที่ 5(d) ด้วยการทดสอบภายใต้เงื่อนไข working coil = 4-turn ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดจะทดสอบภายใต้เงื่อนไขของ working coil = 2, 3, 4, 5, 6 turns และข้อมูลเส้นกราฟทั้งหมดได้ทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่อุณหภูมิใช้งาน 400 °C



รูปที่ 6 ลักษณะรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

4. สรุป

1. ได้นำเสนอวิธีการคำนวณคลื่นแรงดันและกระแสพินดาเมนทอลทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงย่อยของแรงดันคิซึเรกดิฟายที่มีการป้อนเข้าทางด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์

2. ได้นำเสนอวิธีการคำนวณและวัดค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ในกรณีที่คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับแรงดันคิซึเรกดิฟายทางด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งผลที่ได้จากการวัดและคำนวณเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับยืนยันความถูกต้องปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

3. ได้นำเสนอวิธีการเชื่อมโยงสมการคลื่นกระแสพินดาเมนทอลทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่สามารถคำนวณได้แล้วนี้ ไปเชื่อมโยงเข้ากับกระแสทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าซึ่งสามารถหาค่าจำนวนหาค่ากระแสได้ นำไปสู่การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าได้ในที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Viriya and T. Thomas, "Power transfer characteristics of a phase-shift controlled ZVS inverter for the application of induction heating," in *Proc. International Power Electronics Conf. (IPEC)*, 2000, pp. 423-428.
- [2] ยงยุทธ นารายณ์ และ วิริยะ พิเชฐจำเริญ "การวิเคราะห์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรมความถี่สูงแบบฟูลบริดจ์ที่มีการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ด้านอินพุตให้มีค่าสูงมาก" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27, 2547, หน้า 26-30.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ชรรมฉัตร กงวิรัตน์ การศึกษาวุฒิปริญญาตรี จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



วิริยะ พิเชฐจำเริญ การศึกษาวุฒิปริญญาเอกจากมหาวิทยาลัยเมจิ ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ข.

ไฟล์ชาร์จขั้นตอนการซิมูเลตด้วยโปรแกรม MATLAB

โพลชาร์จแสดงขั้นตอนการคำนวณคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์
ที่มีโหลดเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูงด้วยโปรแกรม MATLAB

