

การควบคุมแรงดันไฟสลับเฟสเดียวรูปคลื่นไซน์ด้วยวิธีการสับชอยสำหรับภาระที่เป็นตัวต้านทาน Single Phase Sinusoidal Voltage Waveform AC Voltage Control Based on Chopper for Resistive Load

บุญเรือง วังสิลาบัตร^{1*} และ ปุณณพัฒน์ ช่อฟ้าบัณฑิต²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม และ ²สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน 833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Boonruang Wangsilabatra^{1*} and Poonyapatn Chophabundit²

¹Department of Instrumentation and Control Engineering and ²Department of Mechatronics Engineering

Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, 833 Rama I Rd., Pathumwan, Bangkok 10330, THAILAND.

E-mail: boonrwan@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การควบคุมแรงดันไฟสลับเฟสเดียวรูปคลื่นไซน์ด้วยวิธีการสับชอยสำหรับภาระที่เป็นตัวต้านทาน ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการควบคุมแรงดันไฟสลับรูปคลื่นไซน์ โดยวิธีการควบคุมมุมเฟสในการจุดชนวนโดยใช้ไทรสเตอร์เป็นตัวตัดรูปคลื่น ซึ่งกำลังไฟฟ้าจะไม่แปรผันตรงกับมุมเฟสที่ใช้ในการจุดชนวนให้กับไทรสเตอร์ ในการควบคุมแรงดันไฟสลับรูปคลื่นไซน์ด้วยวิธีการสับชอยนี้ กำลังไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าเฉลี่ยกำลังของคลื่นที่ใช้ในการสับชอยรูปคลื่น และผลที่ได้จากการทดลองพบว่า กำลังไฟฟ้าจะแปรผันตรงตามการควบคุมค่าเฉลี่ยกำลังที่ใช้ในการสับชอยรูปคลื่นไซน์จริง ในขณะที่ภาระเป็นตัวต้านทานเช่นเดียวกัน

คำสำคัญ: แรงดันไฟสลับเฟสเดียวรูปคลื่นไซน์, วิธีการสับชอย

Abstract

This paper proposes the single phase sinusoidal voltage waveform AC voltage controlling based on chopper for resistive load which has the advantage more than the AC voltage control using phase control to trig the Thyristor for cutting the sinusoidal waveform of AC voltage that the active power is not followed by

controlling angle. In the AC voltage control based on chopper, the active power will be relied on duty cycle of the frequency used for chopping the sinusoidal voltage waveform. The experimental results supporting these techniques are also discussed.

Keywords: Single phase sinusoidal voltage waveform, Chopper

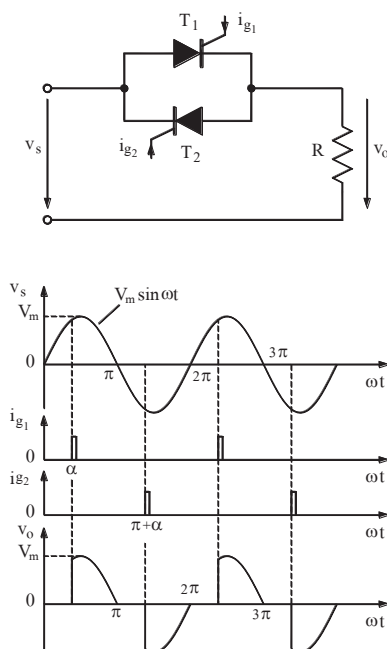
1. บทนำ

แรงดันไฟสลับรูปคลื่นไซน์เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ถูกส่งจ่ายจากการไฟฟ้า โดยจะมีทั้งระบบไฟฟ้าที่เป็นเฟสเดียวและระบบไฟฟ้าที่เป็นสามเฟส แต่สำหรับที่ส่งจ่ายมายังบ้านและที่พักอาศัยโดยทั่วไป จะเป็นระบบไฟฟ้าที่เป็นเฟสเดียว ซึ่งในประเทศไทย จะถูกส่งจ่ายด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าเป็น 220V ที่มีความถี่ของรูปคลื่นไซน์เป็น 50Hz

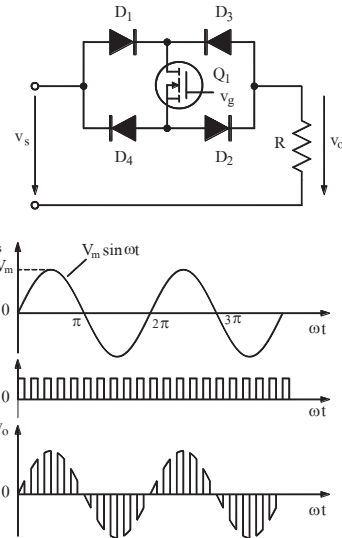
โดยทั่วไปการปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับจะกระทำโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า แต่ถ้าต้องการให้การปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับเป็นแบบต่อเนื่อง ก็มักจะต้องการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟสลับทางด้านเอาต์พุตได้อย่างต่อเนื่อง (Variable AC voltage Transformer, Variac Transformer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้ากำลัง และจะมีราคาสูงมากขึ้น เมื่อต้องนำไปเป็นแหล่งกำลังไฟฟ้าให้กับภาระที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงๆ อย่างเช่น

ขดลวดความร้อน (Heater) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลอมโลหะ หรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการหลอมพลาสติกและฉีดพลาสติก โดยภาระที่เป็นขดลวดความร้อนจะมีคุณลักษณะ เช่นเดียวกันกับภาระที่เป็นตัวต้านทาน [1] การปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับสามารถที่จะกระทำได้หลายๆ วิธีการ เช่นใช้อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังจำพวกไทรสเตอร์ เช่น SCR หรือ TRIAC มาทำการตัดบางส่วนของรูปคลื่นไซน์ออกไป ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับได้โดยการควบคุมมุมเฟสในการจุดชนวนให้กับไทรสเตอร์ให้นำกระแสไฟฟ้า และตัดบางส่วนของรูปคลื่นไซน์ออกไป [1] ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 เป็นการนำเอา SCR (Silicon Control Rectifier) มาใช้ในการตัดบางส่วนของรูปคลื่นไซน์ออกไป ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของแรงดันไฟฟ้า (rms voltage value) ที่ตกคร่อมภาระเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของมุมในการจุดชนวน (Firing angle, α) อย่างไรก็ตามวิธีนี้ส่งผลเสียที่รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าจะเกิดการบิดเบี้ยวไปจากรูปคลื่นไซน์เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะที่มุมในการจุดชนวนมีค่าสูงๆ [2] และขนาดของแรงดันจะแปรผกผันกับมุมที่ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟสลับทางด้านเอาต์พุต



รูปที่ 1 การใช้ SCR ตัดบางส่วนของรูปคลื่นไซน์ออกไป



รูปที่ 2 การสับชอยแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ออกเป็น ส่วน ๆ

อีกวิธีการหนึ่งที่สามารถปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับได้ ก็คือการสับชอยรูปคลื่นด้วยความถี่ที่คงที่ [3] ดังในรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 ไฟสลับรูปคลื่นไซน์ถูกสับชอยออกเป็น ส่วน ๆ ด้วยอัตราส่วนของเวลาในการสับรูปคลื่น (t_{on} / T) ทำให้พื้นที่ของรูปคลื่นไซน์ที่ตกคร่อมภาระจะประกอบไปด้วยพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ เป็นจำนวนมาก และพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ แต่ละรูปจะขึ้นอยู่กับการปรับอัตราส่วนของ t_{on} / T ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพของแรงดันไฟสลับที่ตกคร่อมภาระเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

2. การควบคุมแรงดันไฟสลับ

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการควบคุมแรงดันไฟสลับมีด้วยกันหลายๆ วิธีการ สำหรับในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการควบคุมในสองรูปแบบคือ โดยวิธีการควบคุมมุมเฟสในการจุดชนวนให้กับไทรสเตอร์ และวิธีการสับชอยรูปคลื่นไฟสลับและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับกันดังนี้

2.1 วิธีการควบคุมมุมเฟส

จากรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมภาระดังในรูปที่ 1 สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมภาระได้จากสมการที่ (1) ดังต่อไปนี้

$$V_{o(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (V_m \sin \omega t)^2 d\omega t} \quad (1)$$

$$= V_s \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]}$$

จากสมการที่ (1) V_s เป็นค่าแรงดันประสิทธิผลของรูปคลื่นไซน์ทางด้านอินพุต และ α เป็นค่าของมุมเฟสที่ใช้ในการจุดชนวนให้ SCR เริ่มนำกระแสไฟฟ้า

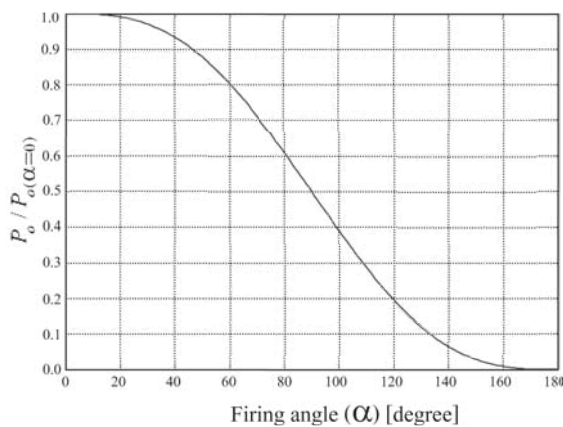
โดยกำลังไฟฟ้าสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการ $Power = V_{o(rms)}^2 / R$ ดังนั้นสมการของกำลังไฟฟ้าที่ภาระทางด้านเอาต์พุตสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2) ดังนี้

$$P_o = \frac{V_s^2}{R} \left\{ \frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right] \right\} \quad (2)$$

เนื่องจาก V_s^2 / R เป็นค่าคงที่ และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มุมเฟส α มีค่าเท่ากับศูนย์ ($P_o(\alpha=0)$) ดังนั้นสมการที่ (2) สามารถที่จะเขียนขึ้นใหม่เป็นดังสมการที่ (3) ดังนี้

$$\frac{P_o}{P_o(\alpha=0)} = \frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right] \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) สามารถเขียนกราฟแสดงอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้า $P_o / P_o(\alpha=0)$ ในฟังก์ชันของมุมเฟสที่ใช้ในการจุดชนวน SCR ได้ดังรูปที่ (3)



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ของ $P_o / P_o(\alpha=0) = f(\alpha)$ ของวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับโดยวิธีการควบคุมมุมเฟส

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 3 จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้ามิได้เปลี่ยนแปลงไปตามมุมเฟสที่ใช้ในการจุดชนวนให้กับ SCR อย่างเป็นเชิงเส้น ทำให้ต้องใช้ระบบควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ภาระที่ซับซ้อนมากขึ้น หรือต้องใช้วิธีการควบคุมแบบป้อนกลับ และต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในระบบการควบคุมมากขึ้น

2.2 วิธีการสับชอยรูปคลื่นไฟสลับ

พิจารณารูปคลื่นไซน์ที่ถูกสับชอยด้วยความถี่ 200 Hz โดยมีอัตราส่วนของการสับชอยคือค่าคิวดีไซเกิ้ล $D = t_{on} / T$ ดังแสดงในรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 จะสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้าที่ภาระได้ดังสมการที่ (4) ดังนี้

$$V_{o(rms)} = \sqrt{\frac{1}{8\alpha} \left[\int_0^{2\alpha} (V_m \sin \omega t)^2 d\omega t + \int_{4\alpha}^{6\alpha} (V_m \sin \omega t)^2 d\omega t \right]} \quad (4)$$

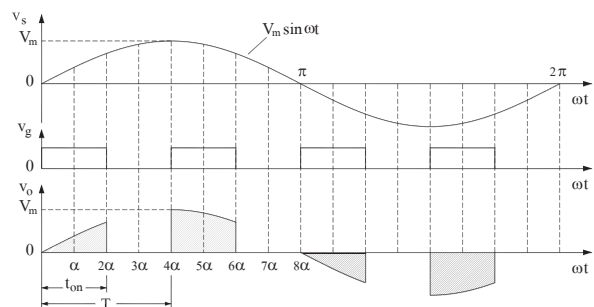
$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{8\alpha} \left[\int_0^{2\alpha} (\sin \omega t)^2 d\omega t + \int_{4\alpha}^{6\alpha} (\sin \omega t)^2 d\omega t \right]}$$

ในรูปที่ 4 จะได้ว่า $\alpha = \pi/8$ และ $D = 2\alpha/4\alpha$ หรือ $D = 1/2$ ดังนั้นสมการที่ (4) จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ (5) ดังต่อไปนี้

$$V_{o(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{2\alpha/4\alpha}$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1/2} \quad (5)$$

$$= V_s \sqrt{D}$$



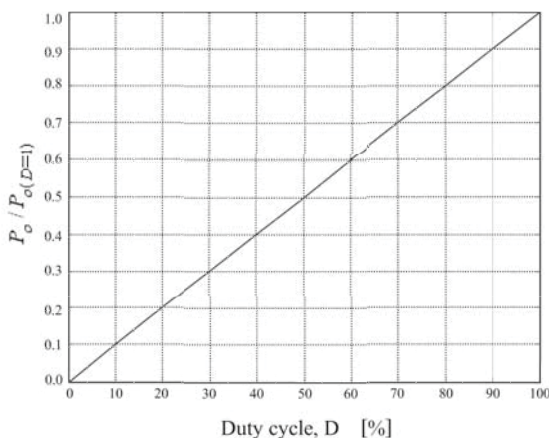
รูปที่ 4 รูปคลื่นไซน์ที่ถูกสับชอยด้วยความถี่โดยมีอัตราส่วนของการสับชอยหรือค่าคิวดีไซเกิ้ล $D = t_{on} / T$

โดยที่ V_s เป็นค่าแรงดันประสิทธิผลของรูปคลื่นไซน์ที่ถูกป้อนเข้ามาทางด้านอินพุตและ D อัตราส่วนเวลา t_{on}/T ของความถี่ที่ใช้ในการสับชอย หรือเป็นค่าดิวตี้ไซเคิลของความถี่ที่ใช้ในการสับชอย ดังนั้นสมการของกำลังไฟฟ้าที่ภาระทางด้านเอาต์พุตสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (6) ดังนี้

$$P_o = \frac{V_{o(rms)}^2}{R} = \frac{V_s^2}{R} D \quad (6)$$

เนื่องจาก V_s^2/R เป็นค่าคงที่ และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับหนึ่ง ($P_{o(D=1)}$) ดังนั้นสมการที่ (6) สามารถที่จะเขียนขึ้นใหม่เป็นดังสมการที่ (7) ดังนี้

$$\frac{P_o}{P_{o(D=1)}} = D \quad (7)$$



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ $P_o / P_{o(D=1)} = f(D)$ ของวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับโดยวิธีการสับชอยรูปคลื่น

จากสมการที่ (7) สามารถเขียนกราฟแสดงอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้า $P_o / P_{o(D=1)}$ ในฟังก์ชันของดิวตี้ไซเคิล D ที่ใช้ในการสับชอยแรงดันไฟสลับได้ดังรูปที่ (5)

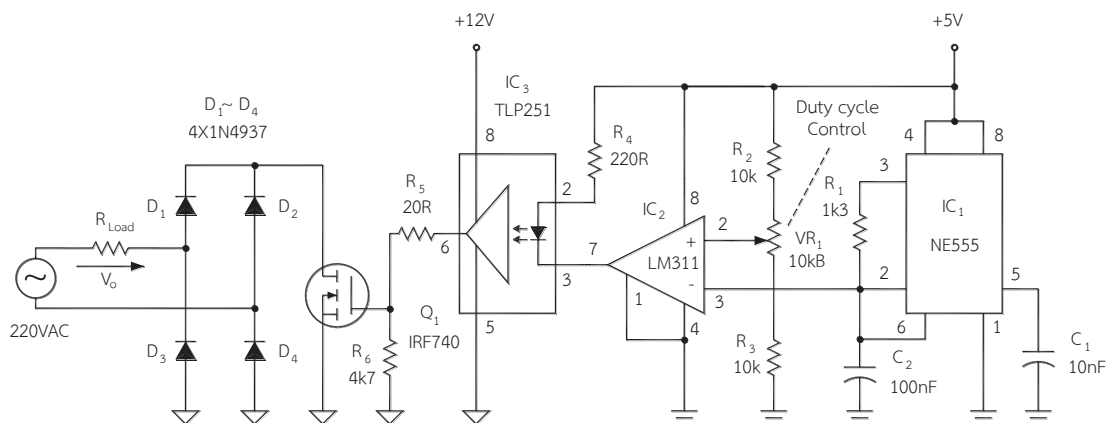
จากกราฟในรูปที่ 5 จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ภาระจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าดิวตี้ไซเคิลที่ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟสลับอย่างเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคาดการณ์ถึงผลของกำลังไฟฟ้าที่ภาระได้โดยง่าย และขบวนการควบคุมสามารถกระทำแบบลูปเปิด โดยไม่ต้องใช้วิธีการป้อนกลับได้ ซึ่งเป็นข้อดีของการควบคุมแรงดันไฟสลับโดยวิธีการนี้

3. วงจรทดลอง

รูปที่ 6 เป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับเฟสเดียวด้วยวิธีสับชอยรูปคลื่น โดย IC₁ จะทำหน้าที่กำเนิดรูปคลื่นสามเหลี่ยมมีค่าความถี่ประมาณ 5 kHz และนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันไฟตรงที่ IC₂ โดยมี VR₁ เป็นตัวปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณทางเอาต์พุตของ IC₂ ต่อจากนั้นจะถูกส่งไปยัง IC₃ ซึ่งทำหน้าที่ขับเกทให้มอสเฟต Q₁ ซึ่งเป็นสวิตช์ที่ใช้ในการสับชอยรูปคลื่นไซน์ของไฟสลับให้ตกคร่อมที่ภาระผ่านทางไดโอดเรียงกระแสไฟฟ้า D₁ ~ D₄ จึงทำให้มอสเฟต Q₁ สามารถสับชอยแรงดันไฟสลับได้ทั้งซีกบวกและซีกลบ โดยใช้อุปกรณ์สวิตช์กำลังเพียงตัวเดียว ทำให้ประหยัดและสามารถออกแบบวงจรขั้วนำได้โดยง่าย

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นผลการทดลองการควบคุมแรงดันไฟสลับโดยวิธี



รูปที่ 6 วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับเฟสเดียวด้วยวิธีสับชอยรูปคลื่น

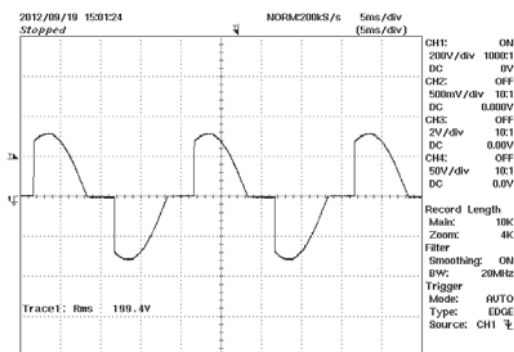
การควบคุมมุมเฟสและส่วนที่สองจะเป็นวิธีการสับชอยรูปคลื่นไฟสลับ

4.1 วิธีการควบคุมมุมเฟส

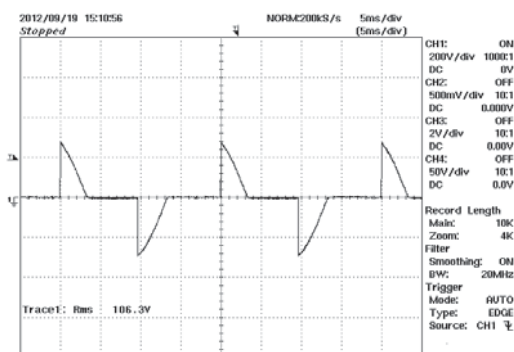
ในการทดลองนี้ใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟสลับด้วยวิธีการควบคุมมุมเฟสในการจุดชนวนให้กับไทรสเตอร์ ซึ่งมีจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไป (Light Dimmer) โดยภาระที่ใช้จะเป็นหลอดไฟฟ้าแบบไส้ (Incandescent Lamp) ขนาดทนกำลังไฟฟ้า 100W ที่แรงดันไฟฟ้า 220V โดยรูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดงถึงการตัดรูปคลื่นไซน์ที่มุมเฟสในการจุดชนวน $\alpha = 60^\circ$ และ $\alpha = 120^\circ$ ตามลำดับ

ผลของแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ภาระ อันเนื่องมาจากการปรับค่ามุมเฟสในการจุดชนวนให้กับไทรสเตอร์แสดงในตารางที่ 1

ผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 1 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ภาระเทียบกับมุมควบคุมในการตัดรูปคลื่น ($Power = f(\alpha)$) ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งจะเห็นว่า กำลังไฟฟ้าที่ภาระมิได้แปรเปลี่ยนไปตามมุมเฟสที่ใช้



รูปที่ 7 รูปคลื่นไซน์ถูกตัดที่มุมเฟส $\alpha = 60^\circ$

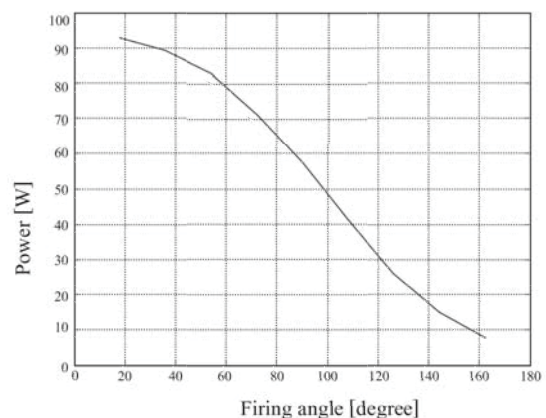


รูปที่ 8 รูปคลื่นไซน์ถูกตัดที่มุมเฟส $\alpha = 120^\circ$

ตารางที่ 1 ผลการทดลองจากการปรับค่ามุมเฟส

α [degree]	$V_{o(rms)}$ [V]	$I_{o(rms)}$ [A]	Power [W]
18.15	221.8	0.418	92.71
35.93	216.5	0.413	89.41
54.07	205.7	0.403	82.90
72.22	186.2	0.382	71.13
90.00	161.7	0.355	57.40
108.15	130.3	0.318	41.44
125.93	96.75	0.271	26.22
144.07	67.32	0.224	15.08
162.22	44.26	0.178	7.88

หมายเหตุ : แรงดันไฟสลับ (V_s) มีค่าเป็น 228V



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ของ $Power = f(\alpha)$

จากผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 1

การควบคุมแรงดันไฟสลับอย่างเป็นเชิงเส้น ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณเชิงทฤษฎี ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3 ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

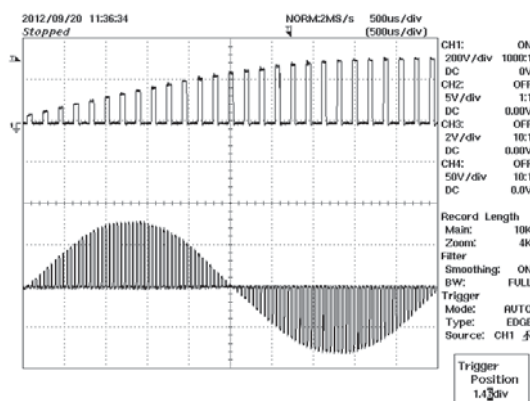
4.2 วิธีการสับชอยรูปคลื่นไฟสลับ

ในการทดลองนี้จะใช้วงจรดังแสดงในรูปที่ 6 และภาระที่ใช้จะเป็นหลอดไฟฟ้าแบบไส้ ขนาดทนกำลังไฟฟ้า 100W ที่แรงดันไฟฟ้า 220V เช่นเดียวกันกับการทดลอง

ควบคุมแรงดันไฟสลับโดยวิธีการควบคุมมุมเฟสที่ใช้ในการตัดรูปคลื่นของไฟสลับ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1

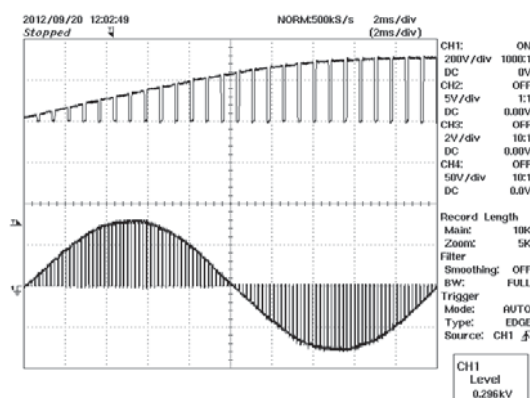
รูปที่ 10 และรูปที่ 11 เป็นผลการทดลองเมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของเวลา t_{on}/T หรือค่าความถี่ (D) ของความถี่ในการสับชอยแรงดันไฟสลับรูปคลื่นไซน์ มีค่าเป็น $D=30\%$ และ $D=80\%$ ตามลำดับ ความถี่ที่ใช้ในการสับชอยจะมีค่าประมาณ 5 kHz

ผลของแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ภาระ ที่เป็นผลจากการควบคุมค่าความถี่ (D) ที่ใช้ในการสับชอย แสดงในตารางที่ 2 และผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 2 นำมาเขียนกราฟ $Power = f(D)$ ดังแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ภาระจะแปรผันไปตามค่าของค่าความถี่ (D) อย่างเป็นเชิงเส้นจริง ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 5 ดังที่กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 10 แรงดันไฟสลับรูปคลื่นไซน์

ถูกสับชอยด้วยความถี่ประมาณ 5 kHz และ $D=30\%$



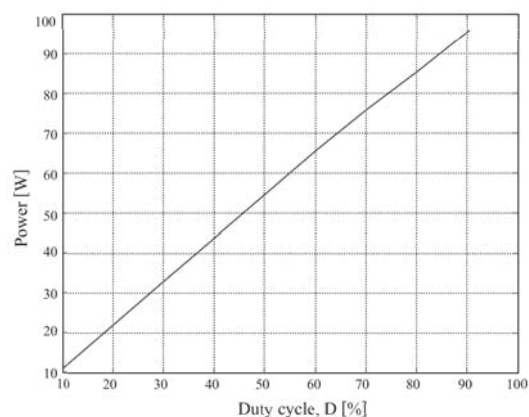
รูปที่ 11 แรงดันไฟสลับรูปคลื่นไซน์

ถูกสับชอยด้วยความถี่ประมาณ 5 kHz และ $D=80\%$

ตารางที่ 2 ผลจากการควบคุมค่าความถี่ (D) ที่ใช้ในการสับชอยของวงจรทดลองในรูปที่ 6

Duty cycle [%]	$V_o(rms)$ [V]	$I_o(rms)$ [A]	Power [W]
10.2	73.1	0.148	10.82
20.7	104.2	0.215	22.40
30.1	125.1	0.261	32.65
40.0	143.8	0.302	43.43
50.0	160.9	0.338	54.38
60.2	176.4	0.372	65.62
70.1	190.2	0.398	75.70
80.2	204.6	0.418	85.52
90.3	216.8	0.441	95.61

หมายเหตุ : แรงดันไฟสลับ (V_s) มีค่าเป็น 228V



รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ของ $Power = f(D)$

จากผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 2

6. สรุป

การควบคุมแรงดันไฟสลับโดยวิธีการสับชอยรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งจะพบว่าในกรณีที่ภาระเป็นตัวต้านทาน กำลังไฟฟ้าที่ภาระจะแปรตรงตามค่าความถี่ (D) ที่ใช้ในการควบคุมอย่างเป็นเชิงเส้น ทำให้การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ภาระกระทำได้ง่ายขึ้น หรืออาจจะใช้ระบบควบคุมที่เป็นรูปเปิด ซึ่งไม่ต้องการระบบควบคุมที่ซับซ้อนมากนัก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cyril W. Lander, “*Power Electronics third edition*”, McGraw-Hill International editions, 1993, pp.243.
- [2] K. Derradji Belloum, and A. Moussi, “*A Fixed Band Hysteresis Current Controller for Voltage Source AC Chopper*”, World Academy of Science, Engineering and Technology 45, 2008, pp.350.
- [3] Muhamadh. Rashid, “*Power Electronics circuits devices, and application, second edition*”, 1993, pp.225.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผศ.บุญเรือง วังศิลาบัตร สำเร็จการศึกษา ระดับ
ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์ประจำ
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีปทุม
วัน

งานวิจัยที่สนใจ: Power Electronics & Control System



บุญญพัฒน์ ช่อฟ้าบัณฑิต สำเร็จการศึกษา
ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชม

งคล ปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชา
วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ: Microcontroller & Logic design