



การออกแบบและสร้างอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้งานร่วมกับสว่านแท่นเจาะ Design and Implementation of Ultrasonic Inverter for Use with Drilling Machine

ปราชญ์ อัศวนรากุล^{1*} อำนวย เรืองวาริ¹ สมควร แววดี² และ สมศักดิ์ แก่นทอง²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม, ² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Prach Asavanarakul^{1*} Amnoiy Ruengwaree¹ Somkuan Vaodee² and Somsak Kanthong²

¹ Department of Electronics and Telecommunication Engineering, ² Department of Industrial Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thunyaburi

39 Moo 1, Rangsit-NakornNayok Road, Klong6, Thanyaburi, Pathumtani, Thailand, 12110

* ผู้รับผิดชอบบทความ: prach.d@en.rmutt.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-991162444

Received: 30 July 2019, Revised: 24 September 2019, Accepted: 25 October 2019.

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เสนอการออกแบบและสร้างอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้งานร่วมกับสว่านแท่นเจาะ เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจาะวัสดุระหว่างการเจาะโดยไม่ใช้อัลตราโซนิคกับการเจาะใช้อัลตราโซนิค ในการออกแบบและสร้างอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์จะใช้มอสเฟตกำลังพิกัดแรงดันไฟฟ้า 500 โวลต์ พิกัดกระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ ร่วมกับวงจรเรียงกระแสบริดจ์ และหม้อแปลงสวิตซิ่ง ผลการทดสอบเครื่องอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถขับเคลื่อนอัลตราโซนิคความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ ขับกำลังงานไฟฟ้าได้ถึง 1.1 กิโลวัตต์ เมื่อประกอบเข้ากับสว่านแท่นเจาะและทดสอบเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร แผ่นสแตนเลสหนา 1.5 มิลลิเมตร แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร และแผ่นอะคริลิกหนา 2 มิลลิเมตร พบว่า การเจาะโดยใช้อัลตราโซนิคเร็วกว่าการเจาะโดยไม่ใช้อัลตราโซนิคทั้ง 4 ตัวอย่าง เวลาที่ใช้ในการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่างเรียงจากน้อยไปหามากคือ ใช้อัลตราโซนิคความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ และไม่ใช้อัลตราโซนิค ตามลำดับ

คำสำคัญ มอสเฟตกำลัง วิสาหกิจขนาดกลางและย่อม สว่านแท่นเจาะ อัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์

Abstract

This article presents the design and implementation of ultrasonic inverter for use with a drilling machine, in order to compare the material penetration efficiency between non-ultrasonic and ultrasonic penetration. In the design and construction of an ultrasonic inverter, the 500 V 20 A power MOSFET is used in conjunction with bridge rectifier and switching transformer. The proposed ultrasonic inverter can drive a 25 kHz, 40 kHz, 60 kHz, 100 kHz and 120 kHz ultrasonic wave with electric power up to 1.1 kW. It is assembled into a drilling machine and tested the penetration with 4 sample materials, 1 mm. steel sheet, 1.5 mm. stainless sheet, 1 mm. aluminum sheet and 2 mm. acrylic sheet. The results show that, ultrasonic penetration faster than non-ultrasonic penetration in all types of sample materials. The time spent in drilling from ascending order is 25 kHz, 40 kHz, 60 kHz, 100 kHz, 120 kHz and non-ultrasonic respectively.

Keywords: drilling machine, power MOSFET, small and medium enterprises: SMEs, ultrasonic inverter.

1. บทนำ

ในปัจจุบัน มีการนำคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ไปใช้อย่างแพร่หลายทั้งในงานอุตสาหกรรม งานทางการแพทย์ และใช้ในครัวเรือน เช่น การตรวจสอบรอยร้าวของชิ้นงานโลหะ การทดสอบแบบไม่ทำลาย เครื่องอัลตราซาวด์ เครื่อง

ล้างเครื่องประดับและอัญมณี เครื่องล้างชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เครื่องล้างชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยคลื่นอัลตราโซนิคได้ด้วย [1] ลักษณะของคลื่นอัลตราโซนิคคือเป็นคลื่นสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงเกิน

ความถี่จะได้นั้น คือความถี่ที่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ (Hertz: Hz) ขึ้นไป คลื่นอัลตราโซนิกมีคุณสมบัติในการเดินทางผ่านตัวกลางซึ่งอาจเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ โดยความเร็วคลื่นที่ใช้ในการเดินทางจะแตกต่างกันในแต่ละตัวกลาง คุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่งของคลื่นอัลตราโซนิกคือมีทิศทางที่แน่นอน และมีการสั่นคงที่ [2]

จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อประยุกต์คลื่นอัลตราโซนิกในงานเจาะวัสดุอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น Chang SS. [3] ได้ศึกษาการนำหลักการอัลตราโซนิกไปใช้ในการเจาะวัสดุตัวอย่างด้วยอัตราการสั่นที่แตกต่างกันพบว่า การใช้อัลตราโซนิกช่วยในการเจาะที่ความเร็วสูงทำให้พื้นผิวรอยเจาะเรียบขึ้น (Burr size ลดลง) แต่ผลข้างเคียงคืออายุของดอกสว่านจะสั้นลง อีกทั้งต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดวงจรขับ (Drive circuit) และตัวจับชิ้นงานที่รองรับการสั่นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric actuator) ประมาณ 400 ดอลลาร์แคนาดา (CAN\$) เมื่อเทียบกับการเจาะด้วยวิธีปกติที่ไม่ใช้อัลตราโซนิก วงจรขับคลื่นอัลตราโซนิกเป็นแบบเชิงขั้ว (Polarity circuit) มีแรงดันไฟฟ้า +100 โวลต์ (Volt: V) Horne MF [4] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบต่อหัวเจาะรูปแบบต่างๆ ในการเจาะวัสดุจำพวกหิน เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเจาะอัลตราโซนิกสำหรับพัฒนาไปใช้ในการเจาะพื้นผิวดาวอังคาร Chowdhury MAK, Sharif Ullah AMM และ Anwar S. [5] ได้ศึกษาการเจาะโลหะผสมชนิด Ti6Al4V alloys ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในยานยนต์ และการบินและอวกาศแต่เป็นวัสดุที่ยากต่อการตัดเจาะ จึงทำการทดลองเจาะชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่อง Rotary Ultrasonic Machining (RUM) การทดสอบเจาะชิ้นงานที่ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้งขนาดหัวเจาะ อัตราหมุน และอัตราการป้อนจะสามารถลดแรงที่ใช้ในการเจาะลงได้

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำคลื่นอัลตราโซนิกมาช่วยในการเจาะวัสดุร่วมกับสว่านแท่นเจาะ (Drilling machine or Drill press) ต้นทุนต่ำที่ใช้งานในห้องปฏิบัติการ โรงปฏิบัติงานขนาดเล็กสำหรับงานวิสาหกิจชุมชน และ

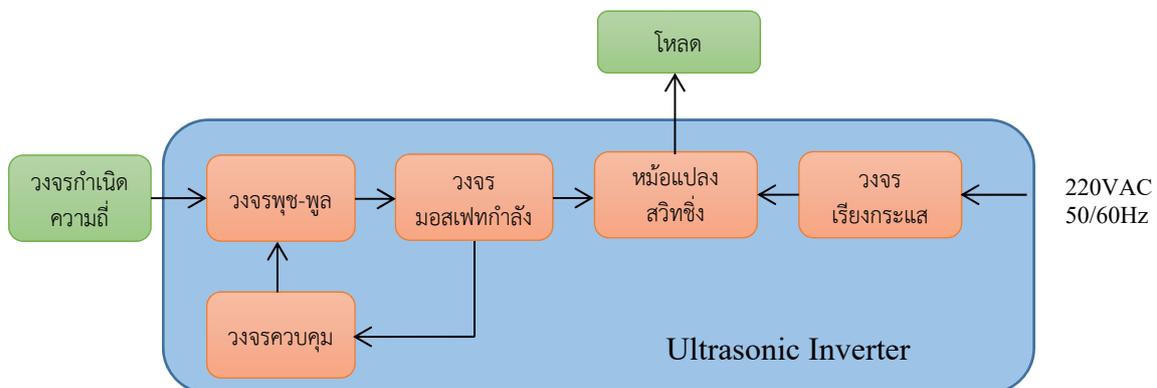
วิสาหกิจขนาดกลางและย่อม (Small and Medium Enterprises: SMEs) วัตถุประสงค์หลักคือเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจาะวัสดุตัวอย่างระหว่างการเจาะโดยวิธีปกติที่ไม่ใช้อัลตราโซนิกกับการเจาะที่ใช้อัลตราโซนิกช่วยในการเจาะและเป็นแนวทางนำไปปรับใช้ในงานวิสาหกิจชุมชน รวมถึงวิสาหกิจขนาดกลางและย่อมในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ (Ultrasonic inverter) ที่มีกำลังขับ 1 กิโลวัตต์ (Watt: W) และวงจรชุดสร้างความถี่ที่สามารถปรับได้ 5 ย่านความถี่ ได้แก่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อขับกำลังงานไฟฟ้าป้อนเป็นกำลังงานด้านเข้าให้กับอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer) ทำหน้าที่แปลงคลื่นความถี่ทางไฟฟ้าย่านเหนือเสียงเป็นพลังงานทางกลในรูปแบบการสั่น นำอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ดังกล่าวข้างต้นมาใช้งานร่วมกับสว่านแท่นเจาะ โดยยัดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่แท่นจับชิ้นงานและทำการทดสอบประสิทธิภาพการเจาะวัสดุตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็ก สแตนเลส อลูมิเนียม และ อะคริลิก แล้วนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางเวลาที่ใช้ในการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบและสร้างอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์

การออกแบบอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ แสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 วงจรกำเนิดความถี่เป็นอุปกรณ์ภายนอก ทำหน้าที่สร้างความถี่ป้อนเป็นสัญญาณด้านเข้าให้กับวงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ ในงานวิจัยนี้ใช้สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม 5 ความถี่ ได้แก่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ ในการทดสอบการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง และใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เป็นโหลด (Load) ทำหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้าและเปลี่ยนเป็นพลังงานกลในรูปแบบการสั่นจากบล็อกไดอะแกรมของอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 1 นำมาสู่การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์แสดงดังรูปที่ 2 ในวงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์



จะใช้ไดโอดบริดจ์ (Bridge diode) DBGA และตัวเก็บประจุ CC ทำหน้าที่เรียงไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 VAC เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 310 VDC และใช้ตัวเก็บประจุ CA และ CB ทำหน้าที่แบ่งครึ่งแรงดันออกเป็น ± 155 VDC โดยมีขา 1 ของหม้อแปลงสวิตซิ่ง (Switching transformer) TR4 เป็นจุดกราวด์เสมือนของวงจร โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ CA จะเป็นแรงดันบวกถูกป้อนให้กับไดโอดบริดจ์ DBG1 ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ CB เป็นแรงดันลบถูกป้อนให้กับไดโอดบริดจ์ DBG2

อุปกรณ์สำคัญของวงจรนี้คือมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) FET1 และ FET2 ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดปิดด้วยความเร็วสูงเท่ากับคลื่นอัลตราโซนิคที่ป้อนทางขาเข้า (Input) เพื่อเปิดทางให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลับไปยังขา 4 ซึ่งเป็นขดลวดด้านปฐมภูมิ (Primary coil) ของหม้อแปลงสวิตซิ่ง TR4 เป็นกระแสไฟฟ้าบวกและลบสลับกันไป ในขณะเดียวกันขดลวดทางด้านทุติยภูมิ (Secondary coil) ของหม้อแปลง TR4 จะได้รับกำลังงานไฟฟ้าจากการเหนี่ยวนำ จึงมีสัญญาณไฟฟ้าย่านอัลตราโซนิคส่งจากขา 5 และ 8 ไปที่ด้านทางออก CH1 และ CH2 (กรณีต้องการใช้งาน 2 ช่อง) ซึ่งเป็นจุดต่อโหลด ปริมาณกระแสไฟฟ้าด้านทางออกจะขึ้นอยู่กับการทำงานของมอสเฟตกำลัง FET1 และ FET2 ในการออกแบบจะกำหนดให้ทำงานในสภาวะแอคทีฟ (Active mode) ตามเงื่อนไขต่อไปนี้ [6]

$$V_{DS} > V_{GS} - V_t > 0 \quad (1)$$

เมื่อ V_{DS} คือ แรงดันเดรน-ซอร์ซ (Drain-Source voltage) ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 155 โวลต์
 V_{GS} คือ แรงดันเกต-ซอร์ซ (Gate-Source voltage) ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 10 โวลต์
 V_t คือ แรงดันจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold voltage) เป็นคุณลักษณะเฉพาะของมอสเฟตที่เลือกมาใช้งาน ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 2 โวลต์ [7]

การควบคุมกระแสโหลดที่ไปขับกำลังงานอัลตราโซนิค ทรานสดิวเซอร์จะขึ้นอยู่กับกระแสเดรน (Drain current: I_D) ของมอสเฟต FET1 และ FET2 ตามสมการต่อไปนี้ [6]

$$I_D = \frac{k'}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad (2)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของมอสเฟต
 L คือ ความยาวของมอสเฟต
 λ คือ ค่า Channel length modulation ที่เป็นส่วนกลับของแรงดัน Early (V_A) ของมอสเฟต

$$k' = \mu_n C_{ox} = \frac{\mu_n \epsilon_{ox}}{t_{ox}} \quad (3)$$

เมื่อ μ_n คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนใน Channel ของมอสเฟต

C_{ox} คือ ค่าเก็บประจุของเกตออกไซด์ (Gate oxide) ต่อหน่วยพื้นที่ของมอสเฟต

ϵ_{ox} คือ สภาพยอมของออกไซด์

t_{ox} คือ ความหนาของออกไซด์

สำหรับมอสเฟตชนิด N จะมีค่า k' ปกติเท่ากับ $200 \mu A/V^2$ ที่ความหนาของออกไซด์เท่ากับ 100 อังสตรอม

จากสมการที่ 2 แสดงให้เห็นว่าค่ากระแสเดรนจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันเกต-ซอร์ซที่ป้อนให้มอสเฟต และถูกขยายด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะของมอสเฟตซึ่งเรียกว่าทรานส์คอนดักแตนซ์ (Transconductance: g_m) ดังสมการต่อไปนี้

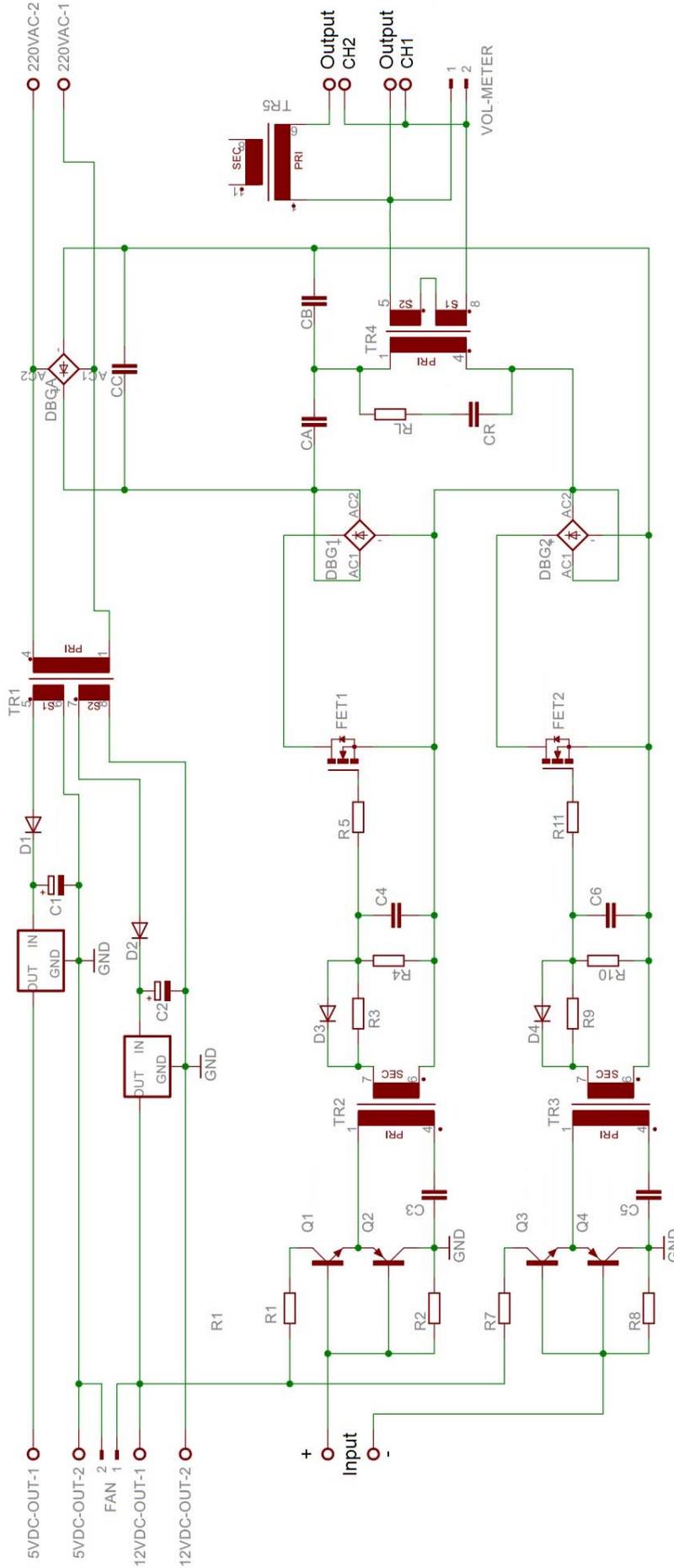
$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} = k' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)(1 + \lambda V_{DS}) \quad (4)$$

เนื่องด้วยการนำไปใช้งานต้องการค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกสูงถึง 1000 โวลต์ แต่ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขา 1 และ 4 ของหม้อแปลง TR4 มีค่าสูงสุดเพียง 310 โวลต์ จึงต้องพันขดลวดหม้อแปลงให้ทวีแรงดันขึ้น ตามสมการอัตราส่วนการแปลง (Transform ratio) ดังแสดงต่อไปนี้

$$\text{Transform ratio} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (5)$$

เมื่อ V_s คือ แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ
 V_p คือ แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ
 N_s คือ จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ
 N_p คือ จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ

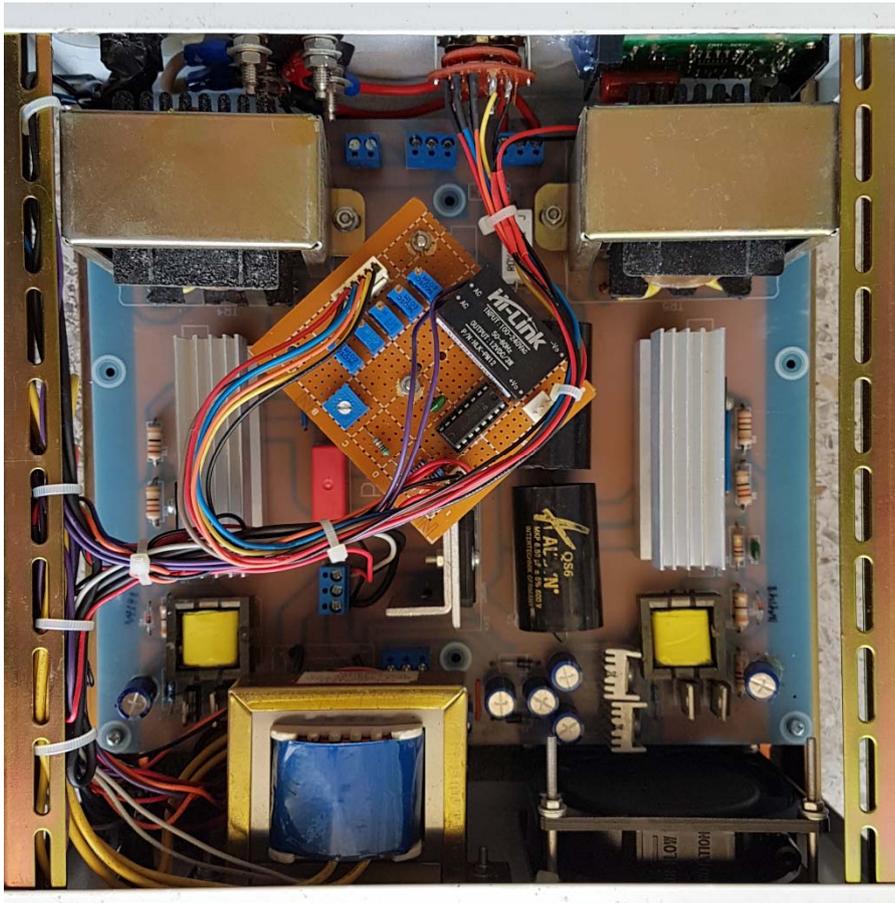
การควบคุมความถี่ของวงจรอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์จะใช้แหล่งกำเนิดความถี่ภายนอกต่อที่ทางด้านขาเข้า ใช้วงจรpush-pull (Push-Pull) Q1 Q2 Q3 และ Q4 จัดระดับแรงดันไฟฟ้าด้านละ 12V ส่งผ่านหม้อแปลง TR2 และ TR3 ซึ่งทำหน้าที่แยกภาคควบคุมออกจากภาคกำลัง แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านทุติยภูมิจากหม้อแปลงทั้งสองตัวจะถูกแบ่งเป็น 10 V ด้วย R3 R4 R9 และ R10 ส่งเข้าขาเกต เพื่อควบคุมการสับสวิตช์ของมอสเฟตกำลัง FET1 และ FET2 แยกเป็นขั้วบวกและลบสลับกันไป ในการสร้างจะใช้มอสเฟตกำลังเบอร์ IRFP460 ของบริษัท Vishay Silconix ซึ่งมีพิทัดแรงดันเดรน-ซอร์ซเท่ากับ 500 โวลต์ และพิทัดกระแสเดรนเท่ากับ 20 แอมแปร์ ที่อุณหภูมิทำงานปกติ 25 องศาเซลเซียส [7] ส่วนวงจรเรียงกระแสจะใช้เบอร์ RBV2506D ของบริษัท EIC Semiconductor มีพิทัดแรงดัน 600 โวลต์ พิกัดกระแส 25 แอมแปร์ [8] เครื่องต้นแบบอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบเสร็จแสดงดังรูปที่ 3



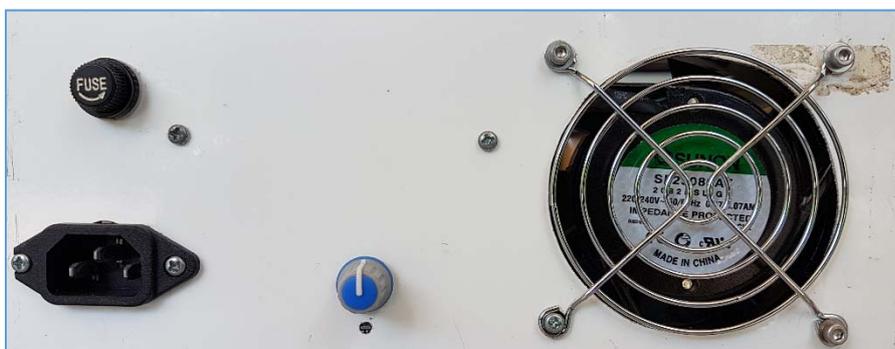
รูปที่ 2 วงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์



(ก) ภาพถ่ายด้านหน้าเครื่องต้นแบบ

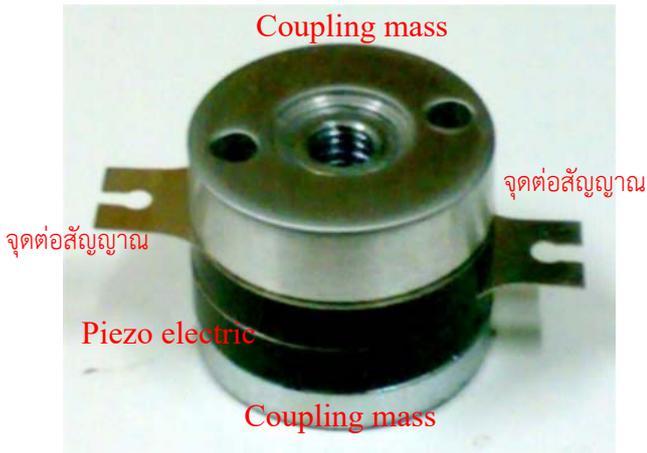


(ข) ภาพถ่ายด้านบนเครื่องต้นแบบ



(ค) ภาพถ่ายด้านหลังเครื่องต้นแบบ

รูปที่ 3 เครื่องต้นแบบอัลตราโซนิกวอเตอร์ที่ประกอบเสร็จ



รูปที่ 4 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

2.2 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ในรูปที่ 4 เป็นอุปกรณ์สำคัญในการทำหน้าที่แปลงคลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นทางกลด้วยความถี่เดียวกัน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับวงจรในรูปที่ 2 ตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ประกอบด้วยเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) สองแผ่นประกบกัน เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าจะบิดตัวตามความถี่ที่ได้รับ แต่การบิดตัวนี้ยังไม่มีการทำงานมากพอ ต้องใช้วัสดุจำพวกอลูมิเนียมขนาดพอเหมาะประกบกับแผ่นเซรามิกสองด้านเรียกว่า Coupling mass เพื่อถ่ายกำลังงานกลออกมาในรูปของการสั่น

ในการสร้างอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จะต้องให้ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance frequency: f_r) กับความถี่อัลตราโซนิกที่ด้านขาออก ดังสมการต่อไปนี้

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6)$$

เมื่อ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่ด้านขาออกของอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ (ขดลวดขั้วของ TR4)

C คือ ค่าเก็บประจุของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

ค่าเก็บประจุของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของ Coupling mass โดยทั่วไปจะใช้อลูมิเนียม 99.5% ซึ่งมีค่าสภาพยอม (ϵ_r) เท่ากับ 10.3 และกำหนดขนาดของ Coupling mass ได้ดังสมการต่อไปนี้ [9]

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (7)$$

เมื่อ ϵ_0 คือ สภาพยอมสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 8.85 pF/m

- A คือ พื้นที่หน้าตัดของ Coupling mass ที่ประกบกับเพียโซอิเล็กทริก
- d คือ ระยะห่างของ Coupling mass ที่กั้นด้วยเพียโซ อิเล็กทริก



รูปที่ 5 เครื่องมือวัดทดสอบรูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิก

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการทดสอบทางไฟฟ้า

เครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่สร้างเสร็จทำการทดสอบการวัดค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่ด้านออกด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ดังรูปที่ 5 โดยการต่อขั้วบวกและลบเข้ากับจุดต่อสัญญาณเพียโซอิเล็กทริกของหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ในการทดสอบจะใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นโหลด เมื่อปรับอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนความถี่ใดจะต้องต่อหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ความถี่เดียวกันเป็นโหลด ผลการวัดแสดงในรูปที่ 6 ถึง 11

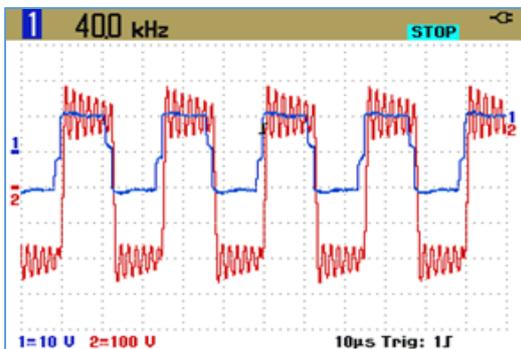
จากรูปที่ 6 ถึง 10 แสดงรูปคลื่นอัลตราโซนิกด้านขาเข้า (ช่อง 1) จากวงจรกำเนิดความถี่กับด้านขาออก (ช่อง 2) ที่จุดต่อโหลดของเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่บันทึกจากเครื่องออสซิลโลสโคปขณะไม่ต่อโหลด รูปที่ 6 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปที่ 7 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปที่ 8 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปที่ 9 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปที่ 10 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ คลื่นอัลตราโซนิกทั้ง 5 มีความถี่ตรงตามการออกแบบ รูปคลื่นด้านขาออกมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม (Square pulse) ที่มีส่วนประกอบของฮาร์โมนิก (Harmonic) ค่อนข้างมาก



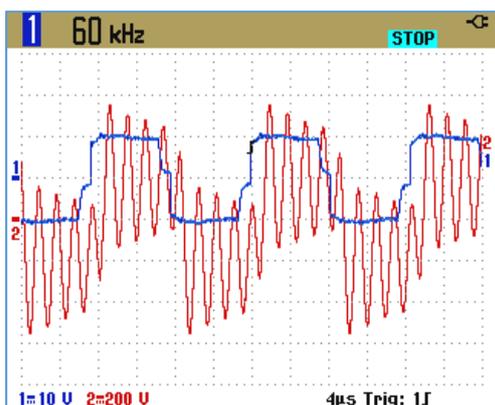
ทำการวัดทดสอบด้านการขับกำลังงานไฟฟ้า พบว่า เครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถขับกำลังงานไฟฟ้าได้ถึง 1.1 กิโลวัตต์ (kW) เมื่อต่อโหลดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ 25 kHz วัดสัญญาณได้เป็นคลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal wave) ความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ ไม่มีฮาร์โมนิก ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มีความถี่ เรโซแนนซ์ตรงกับความถี่ทางด้านขาออกที่กำหนด จึงมีการตอบสนองเฉพาะความถี่ที่กำหนดและไม่ตอบสนองความถี่ฮาร์โมนิก ดังแสดงในรูปที่ 11



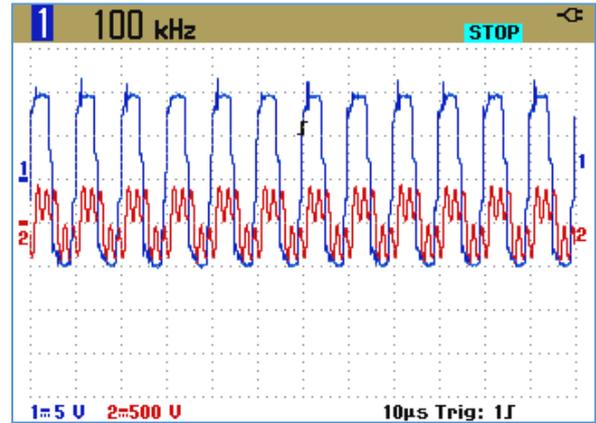
รูปที่ 6 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ ขณะไม่ต่อโหลด



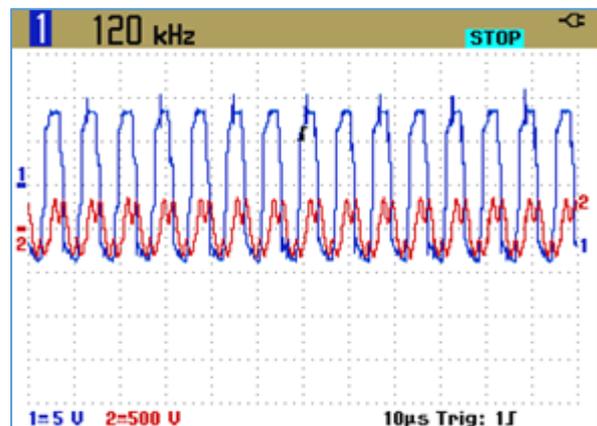
รูปที่ 7 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ขณะไม่ต่อโหลด



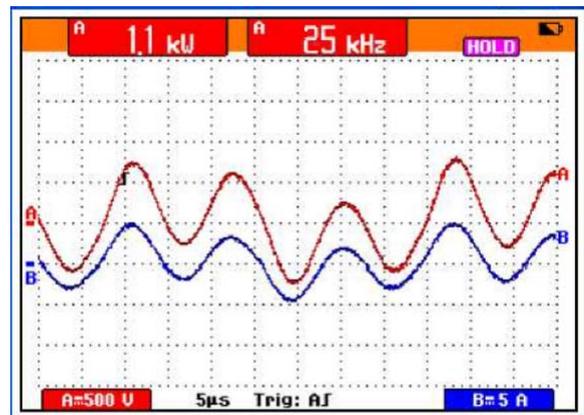
รูปที่ 8 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ ขณะไม่ต่อโหลด



รูปที่ 9 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ขณะไม่ต่อโหลด



รูปที่ 10 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ ขณะไม่ต่อโหลด



รูปที่ 11 ผลการวัดกำลังงานเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ ขณะขับโหลดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ 25 kHz



รูปที่ 12 ทดสอบเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง และบันทึกผลการวัด

3.2 การทดสอบอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์กับส่วนแท่นเจาะ

ติดตั้งเครื่องอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์ที่สร้างเสร็จเข้ากับอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์และส่วนแท่นเจาะ ดังรูปที่ 12 โดยยึดติดทรานสดิวเซอร์กับแผ่นวัสดุตัวอย่างให้แน่นเพื่อให้พลังงานคลื่นทางกลถ่ายไปสู่แผ่นวัสดุตัวอย่างได้มากที่สุด จากนั้นทำการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง โดยทำการจับเวลาการเจาะและเปลี่ยนชนิดของแผ่นวัสดุตัวอย่าง ด้วยแผ่นวัสดุ 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร แผ่นสแตนเลสหนา 1.5 มิลลิเมตร แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร และแผ่นอะคริลิกหนา 2 มิลลิเมตร และเก็บผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 ในการทดสอบจะใช้ส่วนแท่นเจาะเครื่องเดียวกัน ดอกสว่านขนาดเดียวกัน และเจาะโดยไม่มีแรงกดจาก

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลทดสอบการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง

วัสดุตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการเจาะ (วินาที)					
	ไม่ใช้อัลตราโซนิค	25 กิโลเฮิร์ตซ์	40 กิโลเฮิร์ตซ์	60 กิโลเฮิร์ตซ์	100 กิโลเฮิร์ตซ์	120 กิโลเฮิร์ตซ์
แผ่นเหล็ก หนา 1 มิลลิเมตร	120	39	41	44	51	59
แผ่นสแตนเลส หนา 1.5 มิลลิเมตร	140	61	64	71	79	94
แผ่นอลูมิเนียม หนา 1 มิลลิเมตร	60	42	45	49	53	57
แผ่นอะคริลิก หนา 2 มิลลิเมตร	80	36	39	46	49	53

ภายนอก ทั้งนี้เพื่อวัดและเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเจาะวัสดุตัวอย่างทั้ง 4 ชนิดในสถานการณ์เดียวกัน โดยการปรับเปลี่ยนเฉพาะความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิคตามที่ออกแบบไว้เท่านั้น

จากตารางที่ 1 พบว่า การเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง 4 ชนิดแบบใช้อัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์ เวลาในการเจาะเร็วกว่าแบบที่ไม่ใช้อัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์ สรุปลงเวลาที่ใช้ในการเจาะวัสดุตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด เรียงจากน้อยไปหามากคือ ใช้อัลตราโซนิคความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ และไม่ใช้อัลตราโซนิค ตามลำดับ ผลการทดสอบในครั้งนี้ยังไม่ครอบคลุมถึงผลกระทบของแรงกดดอกสว่านและลักษณะของรูเจาะบนแผ่นวัสดุ งานวิจัยส่วนเพิ่มในอนาคตคือ การทดสอบในส่วนการวัดแรงกดของสว่านขณะเจาะแผ่นวัสดุ และปรับเปลี่ยนขนาดของรูเจาะที่ทำการเจาะบนแผ่นวัสดุ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น และนำมาพัฒนางานวิจัยต่อไป

3.3 ต้นทุนการสร้างเครื่องอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์

ต้นทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์แสดงดังตารางที่ 2 ราคาของมอเตอร์ IRFP460 และไดโอดบริดจ์ RBV2506D อ้างจากร้านค้าออนไลน์ [10] ณ วันที่เข้าถึงข้อมูล อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เป็นราคาขายปลีกจากร้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ส่วนราคาวัสดุอื่นๆ เช่น ก่อสร้างเครื่อง น็อต ขายึด สายไฟ เป็นราคาประมาณโดยรวมจากร้านวัสดุทั่วไป หม้อแปลงไฟฟ้า TR4 และ TR5 เป็นราคาจ้างพิมพ์หม้อแปลง เมื่อรวมราคาต้นทุนวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์ (ไม่รวมค่าออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ต้องลงมือทำด้วยตนเอง) แล้วยังพบว่ามียุทธศาสตร์ต่ำกว่าราคาประมาณการจากบทความอ้างอิงหมายเลข [3] ในส่วนของหัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ราคาต่อหัวจะขึ้นอยู่กับกำลังงานไฟฟ้า หัวขนาด 40 วัตต์ มีราคาประมาณ 600-1200 บาท ควรเลือกเฉพาะความถี่ที่จะใช้งาน ถ้าต้องการกำลังงานสูงให้ใช้หลายหัวต่อขนานกัน



ตารางที่ 2 ต้นทุนการสร้างเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์

รายการ	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคารวม (บาท)
มอสเฟต IRFP460	53.08	2	106.16
ไดโอดบริดจ์ RBV2506D	48.52	3	145.56
หม้อแปลง TR1 TR2 TR3	85	3	255
หม้อแปลง TR4 TR5	500	2	1,000
Q1 Q2 Q3 Q4	10	4	40
CA CB	180	2	360
R รวมทั้งหมด	50	1	50
C รวมทั้งหมด	100	1	100
กล่อง สายไฟ ขายึด นี้อด	500	1	500
แผ่นลายวงจรพิมพ์	800	1	800
อื่นๆ	500	1	500
	ยอดรวม (บาท)		3,856.72

4. บทสรุป

บทความวิจัยนี้เสนอการออกแบบและสร้างอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้งานร่วมกับสว่านแท่นเจาะ ผลการทดสอบทางไฟฟ้า พบว่า อัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถขับกำลังงานไฟฟ้าได้ถึง 1.1 กิโลวัตต์ มีรูปคลื่นสัญญาณที่ด้านขาออกความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ ตรงตามการออกแบบ เมื่อต่อเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ร่วมกับสว่านแท่นเจาะ วัดผลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร แผ่นสแตนเลสหนา 1.5 มิลลิเมตร แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร และแผ่นอะคริลิกหนา 2 มิลลิเมตร พบว่า การเจาะโดยใช้อัลตราโซนิกเร็วกว่าการเจาะโดยไม่ใช้อัลตราโซนิกทั้ง 4 ตัวอย่าง การประยุกต์ใช้งานอนาคตควรทดสอบเพิ่มเติมกับวัสดุตัวอย่างชนิดอื่น อีกทั้งควรปรับดอกสว่านหลายขนาด เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการใช้งานและหาวิธีนำไปใช้งานจริงต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือวิจัยและทดสอบ และขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้การสนับสนุนเป็นประโยชน์ ให้งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Vaodee S, Asavanarakul P. Ultrasonic waste water treatment. Proceedings of the Rajamangala Manufacturing and Management

Technology, RMTC2017; 2017 December 7-8, Chonburi, Thailand, 2017. Thai

- [2] David J, Cheeke N. Fundamentals and applications of ultrasonic waves. Florida: CRC Press LLC; 2002.
- [3] Chang SS. Ultrasonic assisted drilling. M.Sci. Thesis. McMaster University; 2003.
- [4] Horne MF. Drilling on mars – mathematical model for rotary-ultrasonic core drilling of brittle materials. Ph.D. Thesis. University of California, Berkeley; 2015.
- [5] Chowdhury MAK, Sharif Ullah AMM, Anwar S. Rotary ultrasonic machining and uncertainties underlying cutting force, tool wear and production materials. 2017;10(1069) Available from: doi:10.3390/ma10091069 [Accessed 22nd September 2019].
- [6] Gray PR, Hurst PJ, Lewis SH, Meyer RG. Analysis and design of analog integrated circuits 5th Edition. New York: John Wiley & Sons; 2009.
- [7] Power MOSFET IRFP460. Available from: <http://www.vishay.com/docs/91237/91237.pdf> [Accessed 22nd September 2019].
- [8] RBV2506D.[internet]. Available from: <https://www.es.co.th/Schematic/PDF/RBV25XX-EIC.PDF> [Accessed 22nd September 2019].
- [9] Cheng DK. Field and wave electromagnetics 2nd Edition. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing; 1989.
- [10] Electronics Source. [internet]. Available from: <https://www.es.co.th/> [Accessed 22nd September 2019].