ชื่อโครงการ การออกแบบและสร้างเครื่องทำความสะอาดอุปกรณ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

ผู้วิจัย 1. นาย ปิติกันต์ รักราชการ
2. ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องล้างอุปกรณ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกราคาประหยัด ซึ่งนำหลักการของอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงทำงานร่วมกับหม้อแปลงแรงดันความถี่สูงและวงจรที่เกี่ยวข้องอื่นๆ มาใช้ประโยชน์สำหรับการแปลงอินพุตไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำขนาด 220Vrms, 50Hz ให้เป็นเอาท์พุตไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงที่สามารถปรับแต่งค่าความถี่ได้ขนาดแรงดัน 120Vrms ย่านความถี่ 30-40 kHz เพื่อจ่ายให้กับตัวแปลงสัญญาณอัลตราโซนิก ในงานวิจัยนี้ชุดของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จำนวน 6 ตัว ถูกนำมาติดตั้งใต้ถาดเครื่องล้างอุปกรณ์เพื่อประกอบขึ้นเป็นเครื่องล้างอุปกรณ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่สมบูรณ์ เครื่องล้างอุปกรณ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่นำเสนอในบทความวิจัยนี้ได้ถูกสร้างและทำการทดลอง ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องนี้สามารถทำการล้างอุปกรณ์สะอาดภายในเวลา 10 นาที ซึ่งเป็นที่น่าพึงพอใจอย่างยิ่ง

คำสำคัญ วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง, คลื่นอัลตราโซนิก, เครื่องล้างอัลตราโซนิก

Research title: Design and Construction of Ultrasonic Cleaner

Researcher: 1. Mr. Pitikan Rugrachagarn
2. Dr. Prasopchok Hothongkham

ABSTRACT

This research report presents the design and construction of an inexpensive ultrasonic cleaner in which a high frequency inverter incorporating with a high frequency transformer and other auxiliary circuits are utilized to convert a low frequency AC input of 220Vrms, 50Hz to be an adjustable high frequency AC output of 120Vrms, 30-40 kHz to apply to a set of ultrasonic transducers. In this work, a set of six 70-watt ultrasonic transducers are used to attach underneath a cleaner pan to form a complete ultrasonic cleaner. The ultrasonic cleaner proposed in this research work is constructed and tested. The performance of this cleaner is found to be very satisfactory , wherein all devices are cleaned within in 10 minutes.

Keywords: High Frequency Inverter , Ultrasonic Wave, Ultrasonic Cleaner

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับความสำเร็จอย่างดีด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์จากอาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้าหลายๆท่านที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการพัฒนาและออกแบบวงจรเครื่องล้างอัลตราโซนิค รวมทั้งแนวทางในการจัดทำรายงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยสยาม ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการจัดทำงานวิจัยชิ้นนี้

ปิติกันต์ รักราชการ
ประสพโชค โห้ทองคำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 3

1.3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย 4

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ 4

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 5

บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 อินเวอร์เตอร์(Inverter) 6

2.2 อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่น (Half Bridge Inverter) 7

2.3 อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็มคลื่น (Full Bridge Inverter) 8

2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์คลาส ดี (Class-D Inverter) 9

2.5 หลักการพื้นฐานของการทำงานของอินเวอร์เตอร์คลาสดี 11

2.6 การวิเคราะห์วงจรอินเวอร์เตอร์แบบคลาสดี 17

2.7 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของแรงดัน 26

2.8 ธรรมชาติของคลื่นเสียง 30

2.9 การกำเนิดความถี่ (Frequency Generation) 31

2.10 ทฤษฎีอัลตราซาวด์ (Ultrasound Theory) 31

2.11 คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Wave) 34

2.12 ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) 35

2.13 เปียโซอิเล็คทริคทรานสดิวเซอร์ (Piezo-electric Transducer) 53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 55

3.1 บล็อกไดอะแกรมรวมของงานวิจัย 55

3.2 รายละเอียดบล็อกไดอะแกรมรวมโครงงาน 55

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล 63

4.1 วงจรและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 63

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวงจรโดยใช้ ออสซิโลสโคป , เครื่องวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า 64

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเครื่องทำความสะอาดโดยการล้างชิ้นส่วนโลหะ 66

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 70

5.1 สรุปผลการวิจัย 70

5.2 อภิปรายผล 70

5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการทำวิจัย 70

5.4 ข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย 71

บรรณานุกรม 72

ภาคผนวก 74

ประวัติผู้วิจัย 82

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วของคลื่นอัลตราซาวด์ในวัตถุต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 17 - 25 องศาเซลเซียสและที่ความดันบรรยากาศ 33

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 การเกิดฟองอากาศและการยุบตัวของฟองอากาศ 2
ภาพที่ 1.2 เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่มีขายในท้องตลาด 2
ภาพที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมรวมของเครื่องล้างชิ้นส่วนโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก 3
ภาพที่ 2.1 ไดอะแกรมวงจรอินเวอร์เตอร์แบบทั่วไป 6
ภาพที่ 2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่น 7
ภาพที่ 2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็มคลื่น 8
ภาพที่ 2.4 แสดงเรโซแนนท์อนุกรมอินเวอร์เตอร์ คลาส ดี แบบบริดจ์ครึ่งคลื่น 10
ภาพที่ 2.5 แสดงรูปคลื่นในวงจรคลาสดี อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่น 11
ภาพที่ 2.6 ขนาดของ Z/Z_O ในฟังก์ชันของ f/f_O และ $R/Z_O = 1/Q_L$ 20
ภาพที่ 2.7 ขนาดของอินพุตอิมพีแดนซ์ทางขาข้าวของวงจรแรโซแนนท์อนุกรมกับ f/f_O ที่ค่า R/Z_O คงที่เท่ากับ $1/Q_L$ 20
ภาพที่ 2.8 ขนาดของ $I_m Z_O/V_I$ ของกระแสที่ไหลผ่านวงจรเรโซแนนท์ 22
ภาพที่ 2.9 ขนาดของ $I_m Z_O/V_I$ ของกระแสในวงจรเรโซแนนท์ กับ f/f_O และ $R/Z_O = 1/Q_L$ 23
ภาพที่ 2.10 ขนาดกำลังไฟฟ้าเอาท์พุต $P_{Ri}Z_O^2/V_I^2R_I$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ f/f_O และ $R/Z_O = 1/Q_L$ 24
ภาพที่ 2.11 ขนาดกำลังไฟฟ้าเอาท์พุต $P_{Ri}Z_O^2/V_I^2R_I$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ f/f_O ที่ค่าคงที่ของ $R/Z_O = 1/Q_L$ 24
ภาพที่ 2.12 ขนาดของ V_{Lm}/V_I ของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเรโซแนนท์ C ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ f/f_O และ $R/Z_O = 1/Q_L$ 26
ภาพที่ 2.13 ขนาดของ V_{Lm}/V_I ของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเรโซแนนท์กับ f/f_O ที่ค่าคงที่ของ $R/Z_O = 1/Q_L$ 26
ภาพที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์ คลาส ดี 27
ภาพที่ 2.15 รูปสามมิติของ M_{Vr} เป็นฟังก์ชันของ f/f_O และ R/Z_O 28
ภาพที่ 2.16 การตอบสนองทางแรงดันของโมเลกุลภายในผลึกเมื่อความหนาของผลึกมีการเปลี่ยนแปลง 41

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2.17 การกำเนิดคลื่นอัลตราซาวด์ภายในผลึกและความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ภายในผลึก 42
ภาพที่ 2.18 โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์ 43
ภาพที่ 2.19 ลักษณะสัญญาณที่ออกมาจากหัวทรานสดิวเซอร์ทางอุดมคติ 43
ภาพที่ 2.20 ลักษณะสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในทรานสดิวเซอร์ 44
ภาพที่ 2.21 ลักษณะการกำหนดตำแหน่งของ Pulse Duration ที่จุด Cut -off 45
ภาพที่ 2.22 การนำเอา Multiple Matching Layers เข้ามาช่วยปรับลดความเพี้ยนของสัญญาณ 46
ภาพที่ 2.23 Frequency Spectrum 47
ภาพที่ 2.24 ลักษณะการแพร่ออกของลำคลื่นอัลตราโซนิก และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิก 47
ภาพที่ 2.25 ลักษณะความยาวคลื่น (รูป a) 6 ลูกคลื่นขณะที่ค่า Mechanical Coefficient สูง ที่ความถี่ต่ำ (รูป b) 2.5 ลูกคลื่นขณะที่ค่า Mechanical Coefficient ต่ำ ที่ความถี่สูง 48
ภาพที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นขึ้นอยู่กับค่าความถี่ 49
ภาพที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่คลื่นอัลตราซาวด์เดินทางกับ Frequency Spectrum 49
ภาพที่ 2.28 สเปกตรัมช่วงของความถี่ที่ถูกกำหนดโดยค่าของ Mechanical Coefficient 50
ภาพที่ 2.29 แสดงสเปกตรัม (a) High –Q (ความถี่ต่ำ) , (b) Low–Q (ความถี่สูง) 50
ภาพที่ 2.30 ลักษณะคลื่นอัลตราซาวด์ที่แพร่ออกจากแหล่งกำเนิดขนาด 1 หน่วย 51
ภาพที่ 2.31 ลักษณะคลื่นอัลตราซาวด์ที่แพร่ออกจากแหล่งกำเนิดขนาด 10 หน่วย 51
ภาพที่ 2.32 ลักษณะ Diagram ของช่วง Near Field และ Far Field 52
ภาพที่ 2.33 การเกิดคลื่นความดันสูงในบริเวณ Near Field ที่ความถี่ต่ำ (รูป b) แสดงให้เห็นการลดลงของคลื่นความดันในบริเวณ Near Field ที่ความถี่สูง 52
ภาพที่ 2.34 ภาพตัดขวางจากด้านบนของการอัดตัวและขยายตัวของน้ำที่ความถี่ต่ำ(A , B) 52
ภาพที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัยนี้ 55
ภาพที่ 3.2 วงจรเร็กติไฟร์ 56
ภาพที่ 3.3 วงจรดีซี – ลิงค์ 56
ภาพที่ 3.4 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์ โดยใช้วงจรรวมเบอร์ TL 494 57

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.5 วงจรเชื่อมต่อทางแสงโดยใช้วงจรรวมเบอร์ 6N136 57
ภาพที่ 3.6 วงจรขับเกทที่ใช้วงจรรวมเบอร์ IR2110 58
ภาพที่ 3.7 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ความถี่สูง 58
ภาพที่ 3.8 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง 59
ภาพที่ 3.9 เครื่องล้างอัลตราโซนิกต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น 59
ภาพที่ 3.10 ชุดหัวขับทรานสดิวเซอร์ขนาด 420W 60
ภาพที่ 3.11 ด้านบนของชุดหัวขับทรานสดิวเซอร์ 60
ภาพที่ 3.12 ชุดอุปกรณ์ทั้งหมดที่ได้สร้างขึ้น 61
ภาพที่ 3.13 วงจรทั้งหมดที่สร้างขึ้น 62
ภาพที่ 4.1 แสดงไดอะแกรมของวงจรที่ทำการทดลอง 63
ภาพที่ 4.2 วงจรจริงที่ทำการทดลอง 63
ภาพที่ 4.3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาท์พุต 64
ภาพที่ 4.4 รูปคลื่นสัญญาณพัลส์จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่สร้างโดยไอซีเบอร์ TL494 65
ภาพที่ 4.5 รูปคลื่นสัญญาณพัลส์จากวงจรขับเกท 65
ภาพที่ 4.6 กราฟคุณสมบัติแรงดันอินพุต-เอาท์พุตของเครื่อง 66
ภาพที่ 4.7 กราฟคุณสมบัติกระแสอินพุต-เอาท์พุตของเครื่อง 66
ภาพที่ 4.8 ลักษณะของโลหะขนาดต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ 67
ภาพที่ 4.9 แท่งเหล็กหมายเลข 1, 2 และ 3 ขณะทำการล้างด้วยเครื่องทำความสะอาด 67
ภาพที่ 4.10 ลักษณะของน้ำที่ได้หลังจากทำการล้างแท่งเหล็กแล้ว 68
ภาพที่ 4.11 โลหะที่เป็นน๊อตเหล็กขณะกำลังล้างด้วยเครื่องทำความสะอาด 68
ภาพที่ 4.12 ลักษณะของน้ำที่ได้หลังจากทำการทดสอบการล้าง 69
ภาพที่ 4.13 โลหะที่ผ่านการล้างจากเครื่องล้างอัลตราโซนิกแล้ว 69